

14.611/H/02



TUGAS AKHIR
(KL 1702)

**STUDI NUMERIK
PENGARUH PASS PENGELASAN
TERHADAP HEAT INPUT PENGELASAN**



RSke
671.52
Sug
S-1
2001

Disusun Oleh :

SUGIYANTO
NRP. 4395100005

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2001**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	0-7-2002
Terima oleh	H
No. Agenda Per.	2-4869

STUDI NUMERIK PENGARUH PASS PENGELASAN TERHADAP HEAT INPUT PENGELASAN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kelautan
Pada**

**Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui,

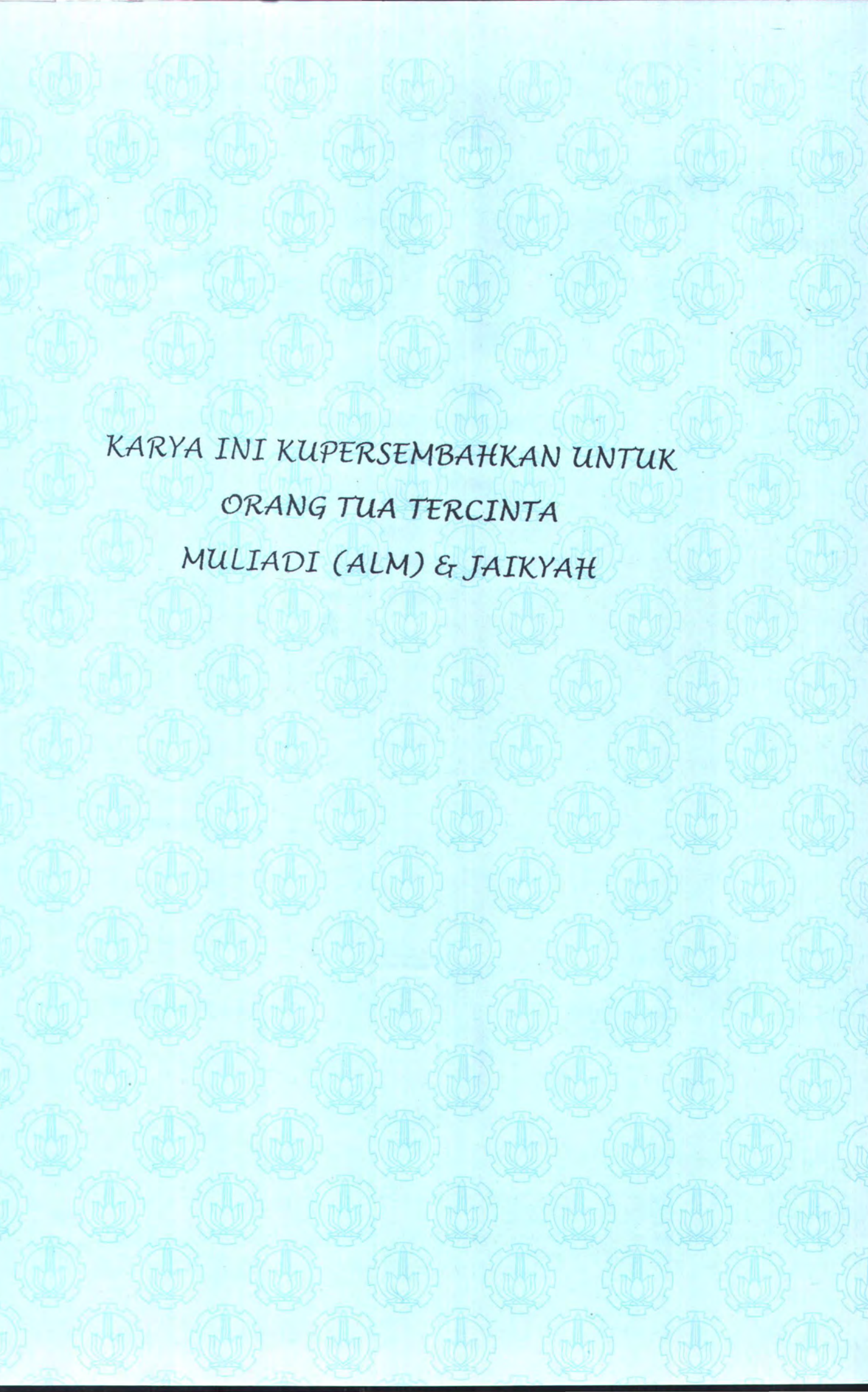
Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

**Ir. Soeweify, M.Eng
NIP. 130 368 597**

**Ir. Nur Syahroni
NIP. 132 231 143**





*KARYA INI KUPERSEMBAHKAN UNTUK
ORANG TUA TERCINTA
MULIADI (ALM) & JAIKYAH*



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fak. 5928105, 5994251 Psw. 1104 - 1105

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : SUGIYANTO
NOMOR POKOK : 4395.100.005
DOSEN PEMBIMBING II : Nur Syahroni,ST
TUGAS DIMULAI :
TUGAS SELESAI :
JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Numerik Pengaruh Pass Pengelasan
Terhadap Heat Input Pengelasan

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	28/09/00	- BAB I - BAB II	
2	5/10/00	REVISI BAB I & BAB II	
3	10/10/00	BAB III	
4	12/10/00	REVISI BAB III	
5	13/10/00	Diagram Alir Program	
6	15/10/01	Analisa Hasil	
7	17/10/00	Analisa Hasil	
8	18/01/01	REVISI BAB IV	
9	22/01/01	BAB I	
10	23/01/01	Selesai	

Catatan : Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir



ABSTRAK

“Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

ABSTRAK

Tugas akhir ini menganalisa pengaruh pass pengelasan terhadap besarnya heat input dan lebar HAZ pada ketebalan plate 13 mm, 19 mm, dan 25 mm dengan menggunakan pendekatan numerik melalui software **weldanalyser1.0**. Pada ketebalan plate 13 mm memakai variasi jumlah pass 3,4, dan 5, untuk plate 19 mm memakai variasi jumlah pass 5,6,7,8 dan 9, dan pada plate 25 mm memakai variasi jumlah pass 6,7,8,9,dan 10. Hasil yang diperoleh yaitu kenaikan heat input setiap variasi jumlah pass, pada tebal plate 13mm kenaikan heat input sekitar 4000 joule/cm dan kenaikan lebar HAZ sekitar 1 mm, sedang untuk tebal plate 19 mm kenaikan Heat input sekitar 4000 joule/cm dan kenaikan lebar HAZ sekitar 0,4 mm dan pada tebal plate 25 mm kenaikan heat input sekitar 6000 joule/cm dan kenaikan lebar HAZ sekitar 0,4 mm. Kenaikan dari heat input dan lebar HAZ akan semakin cepat membesar dengan bertambahnya jumlah pass. Melihat batasan heat input maksimum yang diperbolehkan maka jumlah pass optimum pada plate 13mm adalah 4 pas, hal ini sesuai dengan hasil dari experimental dimana angka non dimensional perbandingan nilai impact dan hardness pada 4 pass adalah yang tertinggi dan lebar HAZ yang terjadi sesuai dengan standar yang ada dengan perbedaan dari hasil experimental 0,1 mm, sedang untuk plate 19mm jumlah pass optimum adalah 6 pass dan pada plate 25 mm jumlah pass yang optimum adalah 8 pass.



KATA PENGANTAR

“Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmanirrokhiiim,

Alhamdullillahirrobil'amin, puji syukur kehadiran ALLAh SWT yang Maha Agung atas segala rahmat-Nya. Hanya karena kemurahan dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan sesama .

Dalam kesempatan ini juga, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang selama ini banyak membantu penulis baik berupa dorongan moril, sumbangan pemikiran sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Jurusan Tekniuk Kelautan – ITS.

- Sujud syukur pada Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW, yang memberikan sinar terang pada kehidupan bumi..
- Kepada Bapak **Dr. Ir. Paul Indiyono, M.Sc** sebagai ketua Jurusan Teknik Kelautan dan sekaligus dosen wali yang banyak membimbing penulis dalam menyelesaikan studi di Teknik Kelautan.
- Bapak **Ir. Soeweify, M.Eng** selaku dosen pembimbing I, yang telah banyak memberikan pemikirannya kepada penulis.
- Bapak **Ir. Nur Syahroni** selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak memberikan pinjaman buku dan bimbingannya.
- Kepada **Bapak (alm), Ibu dan adikku (Yoyok, Joko & Santi)** di Mojokerto atas kasih sayangnya dan banyak memberikam dorongan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studi.
- Untuk **My dream girl “Dyan “** yang selalu memberikan semangat, inspirasi, kritikan, canda tawa dan ketulusannya mendampingi. Thank's untuk semua kenangan indah yang terukir direlung hati yang paling dalam.
- Kangge teman seperjuangan **T-78 , Wawan “Reog”** yang memberikan pelajaran gilanya, **Cahyo “ Vampire”** thank's atas pinjaman komputernya. **Anang “ Kowor “** yang selalu memberikan petuah dan pelajaran religinya.

Arief "**Menwa**" yang slalu mengajari kedisiplinan & ilmu rayuanya, **Kojer** yang memberikan bantuan atas pembuatan program, suwon sing akeh. "Lurah Manukan" **Sidiq** teman debat saya dalam politik " Si-LuGu" **Gendon** suwun atas bantuane.

- Thank's untuk anak-anak asuh T-78 yang memberiku semangat kuliah **Umar** " The Gambler ", **my pathner Yusuf** " Me-Galoon-man ", *Master Of Love* **Ochim**, ndra "Lare osing ", **Azhar the crocodile**, **Kunam** rambut ruwet, **Q-Wir slowly man**. Dan Tante asuh **Andika** beserta gengnya (Ewok, Triyono, Herlambang " **Putra Zeus** "),**Mahcmud** " **Cino**", **CQ**, **Blo'On**, Heri, Fahrudin, Unis, Eko "Pitik", Yandri "Komting",Rahman, Dho-dhot"Raja Penidur", **Susi&Joe**, "Bidadari 95".
- Buat keluarga Pak '**Yit**, Bu **Nur** dan konco kentel **Titus** terima kasih atas dukungan moril maupun materi dalam masa sulit dalam studi.
- Untuk mas **Sunaji**, lik **wit** ma' kasih atas kosanya dulu, de kantong, mak kus, mbah lan & mbok sih(alm) dan sedulur sedaya matur nuwun dukungan semangate.
- Terima kasih Buat **Gus Ta'in** atas bantuan do'a dan bimbingan rohani selama ini.
- Semua pihak yang tidak sanggup penulis sebutkkan satu persatu, terima kasih

Surabaya, Juli 2001

Sugiyanto



DAFTAR ISI

"Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman "
Q16:19

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak.....	i
Kata Pengantar.....	ii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Lampiran.....	
 BAB I PENDAHULUAN.....	 I-1
I.1.Latar Belakang.....	I-1
I.2.Permasalahan.....	I-2
I.3.Tujuan.....	I-3
I.4.Manfaat.....	I-3
I.5.Batasan Masalah.....	I-3
I.6.Sistematika Penulisan.....	I-4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	 II-1
II.1.Umum.....	II-1
II.2.LandasanTeori.....	II-1
II.2.1Parameter pengelasan yang berpengaruh pada heat input.....	II-2
II.2.2.Macam-macam pass pada daerah pengelasan.....	II-7
II.2.3.Aliran panas pada proses pengelasan	II-11

II.2.4.Perumusan jumlah pass pengelasan.....	II-21
II.2.5.Pengaruh heat input terhadap ketangguhan batas las.....	II-21
BAB III.METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHSAN.....	IV-1
IV.1.Perhitungan Jumlah pass.....	IV-1
IV.2.Perhitungan heat input.....	IV-3
IV.3.Perhitungan Distribusi temperatur.....	IV-5
IV.4.Panduan Penggunaan Program.....	IV-7
IV.5.Pembahasan.....	IV-11
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	V-1
V.1.Kesimpulan.....	V-1
V.2.Saran.....	V-2
Daftar Pustaka	
Lampiran A	
Lampiran.B	



DAFTAR GAMBAR

"Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman "

Q16:19

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1.CSA Weld metal.....	II-6
Gambar 2.2.Root Pass.....	II-8
Gambar 2.3.Hot Pass.....	II-9
Gambar 2.4.Filler Pass.....	II-10
Gambar 2.5.Cover Pass.....	II-11
Gambar 2.6.Analogi aliran panas pada poros medium.....	II-12
Gambar 2.7.Aliran panas pada plate tipis.....	II-13
Gambar 2.8.Aliran panas pengelasan pada dua dimensi.....	II-16
Gambar 2.9. Tahapan temperatur pada proses pengelasan	II-16
Gambar 2.10 Control volume akibat proses conductive dan convective. ...	II-17
Gambar 2.11.Pengaruh masukan panas pada sifat tumbuk.....	II-22
Gambar 2.12.Hubungan masukan panas dan kekuatan takik.....	II-23
Gambar 2.13.Hubungan sifat mekanik dan masukan panas	II-23
Gambar 4.1.Tampilan menu utama program	IV-8
Gambar 4.2.Tampilan input program.....	IV-8
Gambar 4.3.Tampilan input weld deposit.....	IV-9
Gambar 4.4.Tampilan input electrode.....	IV-9
Gambar 4.5.Tampilan output program.....	IV-10
Gambar 4.6.Report hasil.....	IV-11
Gambar 4.7.Grafik perbandingan Heat input,plate 25,4 mm.....	IV-13

Gambar 4.8. Grafik perbandingan heat input, plate 19 mm.....	IV-13
Gambar 4.9. Grafik heat input, 3 pass pada plate 13 mm.....	IV-13
Gambar 4.10. Grafik heat input, 4 pass pada plate 13mm.....	IV-13
Gambar 4.11. Grafik heat input, 5 pass pada plate 13mm.....	IV-14
Gambar 4.12. Grafik jumlah pass dengan heat input pada plate 25mm.....	IV-14
Gambar 4.13 Grafik jumlah pass dengan heat input pada plate 19mm.....	IV-15
Gambar 4.14. Grafik jumlah pass dengan heat input pada plate 13mm	IV-15
Gambar 4.15. Grafik jumlah pass dengan lebar HAZ, 25mm.....	IV-16
Gambar 4.15. Grafik jumlah pass dengan lebar HAZ, 19mm.....	IV-16
Gambar 4.15. Grafik jumlah pass dengan lebar HAZ, 13mm.....	IV-16



DAFTAR TABEL

“Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Faktor pengaruh perubahan molten weld bead.....	II-8
Tabel 4.1 Hasil heat input pada plate 25,4 mm.....	IV-3
Tabel 4.2. Hasil heat input pada plate 19 mm	IV-4
Tabel 4.3. Hasil heat input pada plate 19 mm	IV-4
Tabel 4.4. Data heat input dari rumusan umum, plate 25mm	IV-12
Tabel 4.5 Data heat input dari rumusan umum, plate 19mm	IV-12
Tabel 4.6 Data heat input dari rumusan umum, plate 13mm	IV-12



BAB I PENDAHULUAN

“Tidaklah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

BAB I

PENDAHULUAN

I.1.Latar Belakang

Pada saat ini teknik las sudah dipergunakan secara luas dalam penyambungan plat konstruksi baja dan konstruksi besi. Luasnya teknologi ini karena konstruksi yang dibuat dengan teknik penyambungan las menjadi lebih cepat pengerjaannya dan proses pembuatannya lebih sederhana dibandingkan dengan teknik penyambungan lainnya, sehingga biaya keseluruhan lebih murah (Arifin,1994). Akan tetapi dalam proses pengelasan harus diperhatikan tentang prosedur pengelasan yang sangat berpengaruh terhadap hasil las-lasan. Salah satu dari prosedur pengelasan yang harus diperhatikan adalah heat input, sebab heat input berpengaruh pada hasil las-lasan. Bila heat input terlalu kecil maka akan terjadi *slag penetration* dan bila heat input terlalu besar maka akan timbul *under cut*. Penentuan heat input ini sangat dipengaruhi oleh jumlah pass dan diameter elektrode (soeiwfy,1994).

Pada saat pengelasan logam dilakukan akan terjadi distribusi temperatur pada logam yang dimulai dari titik pengelasan logam disekitarnya, dengan adanya kenaikan temperatur maka struktur logam pada daerah yang terkena pengaruh panas (HAZ) berubah secara berangsur angsur dari struktur base metal ke weld metal, dimana pada

daerah HAZ besar butiran dan struktur yang berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan, karena adanya perubahan besar butiran dari struktur inilah kemudian diikuti perubahan sifat mekanis material pada daerah HAZ(Arifin,1994)

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian tentang pengaruh jumlah *pass* terhadap heat input yang paling optimum pada pengelasan *mild steel* dengan pendekatan secara numerik, dimana hasilnya nanti diharapkan bisa menjadi acuan untuk menyusun suatu prosedur pengelasan (WPS).

I.2. Permasalahan

Permasalahan yang dihadapi dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh jumlah *pass* terhadap heat input dan lebar HAZ yang dihasilkan pada saat pengelasan dengan menggunakan pendekatan perumusan numerik .
2. Bagaimana menentukan *pass* yang paling optimum .

I.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh jumlah *pass* terhadap heat input dan distribusi temperature yang dihasilkan pada saat pengelasan dengan menggunakan perumusan numerik.
2. Mengetahui jumlah *pass* yang paling optimum dengan batasan heat input maksimum yang boleh dipakai

I.4. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah dapat menentukan jumlah pass yang paling sesuai dengan ketebalan material dan diameter elektrode yang dipakai dengan mengacu pada heat input dan distribusi temperature yang dihasilkan, dari perhitungan heat input dan distribusi temperature akan dihasilkan lebar HAZ, dimana lebar HAZ akan sangat menentukan hasil baik buruknya pengelasan pada saat pengelasan. Dan penelitian ini diharapkan dapat membantu seorang welder dalam membuat procedure pengelasan terutama penentuan jumlah pass yang sesuai dengan material dan elektrode yang dipakai dengan acuan standar AWS.

I.5. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan masalah dalam penulisan ini, maka dilakukan beberapa pembatasan – pembatasan yaitu:

1. Baja yang dipergunakan adalah mild steel
2. Ketebalan material yang dianalisa: 25mm, 19mm dan 13mm.
3. Pengelasan menggunakan SMAW
4. Analisa hanya untuk satu groove.

I.6. Sistematika penulisan

Untuk menyelesaikan tugas akhir ini, telah disusun sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Diuraikan mengenai dasar pemikiran dan latar belakang yang melandasi penelitian ini, perumusan masalah dan tujuan yang hendak dicapai, manfaat dari penulisan tugas akhir ini, batasan permasalahannya serta sistematika penulisan.

BabII. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam bab ini diuraikan tentang penelitian penelitian yang pernah dilakukan ,teori tentang jumlah pass, heat input serta pengaruhnya, persamaan matematis yang dipergunakan meliputi, besarnya heat input, perumusan jumlah pass dan heat transfer yang terjadi pada dua dimensi maupun tiga dimensi.

BabIII.Metodologi Penelitian.

Berisi tentang langkah penyelesaian tugas akhir ini,mulai dari studi literatur, permodelan numerik, pemogramanya, analisa hasil sampai kesimpulan dari permodelan numerik ini.

BabIV.Hasil dan pembahasan

Dalam bab ini diuraikan mengenai hasil perhitungan dari jumlah pass, permodelan numerik heat transfer, heat input yang terjadi dan kemudian dibandingkan dengan hasil yang sudah ada.atau rumusan lain.

BabV.Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari permasalahan tugas akhir ini dan saran saran dari hasil penelitian ini .



BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

“Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

II.1 Umum

Masalah pengelasan terutama mengenai procedure pengelasan dan pengaruhnya terhadap hasil las-lasan telah banyak dibahas melalui peneliti-peneliti terdahulu. Seperti diketahui bahwa procedure pengelasan sangat luas cakupannya maka biasanya peneliti membatasi dalam hal tertentu, antara lain yaitu besarnya heat input dan lebar HAZ. Besar temperatur pengelasan akan berpengaruh pada perubahan struktur material di HAZ dan berpengaruh terhadap sifat mekanik pada HAZ sehingga menimbulkan HAZ yang terbentuk semakin lebar, dimana kuat tarik semakin tinggi, kekerasan semakin tinggi tetapi *ductility*-nya rendah dan pada plat yang tipis perubahan mekanisnya semakin besar sesuai cooling rate yang terjadi. Sedang heat input yang terlalu besar akan menyebabkan timbulnya cacat pengelasan seperti under cut.

II.2 Landasan Teori

Terbentuknya busur pengelasan pada SMAW, dimulai dari tersentuhnya kawat elektrode ke base metal. Dengan tersentuhnya elektrode ke logam induk maka akan terjadi loncatan loncatan partikel listrik. Karena loncatan partikel tersebut maka timbul panas yang tinggi, sehingga kawat elektrode dan base metal akan mencair. Besarnya arus loncatan elektron ini akan menentukan baik buruk hasil pengelasan, bila arus rendah maka pemindahan elektrode cair ke base metal menjadi besar-besar, sedangkan pada arus yang besar pemindahan

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

elektrode akan menjadi butiran kecil dan halus .Hasil pengelasan logam tersebut ditentukan sekali oleh pola pemindahan logam cair, jenis material induk dan elektrode termasuk fluknya.

II.2.1 Parameter pengelasan yang berpengaruh terhadap heat input.

2.1.1. Tegangan busur las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis elektroda yang dipergunakan, pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Pada dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehendaki karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil penglasanya tidak merata, disamping itu tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan ,sehingga tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang-buang energi saja. Panjang busur yang dianggap baik kira sama dengan dengan garis tengah elektroda .tegangan yang diperlukan untuk mengelas dengan elektrode bergaris tengah 3 sampai 6 mm, kira-kira antara 20 sampai 30 volt untuk posisi datar, sedang untuk posisi tegak antara atau atas kepala biasanya dikurangi lagi dengan 2 sampai 5 volt. Kestabilan busur dapat juga didengar dari kestabilan suara selama pengelasan. Masih sehubungan dengan panjang busur, hal yang paling sukar dalam las busur listrik manual adalah mempertahankan panjang busur yang tetap.

2.1.2. Besarnya arus las

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung dari ukuran bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan ,posisi macam pengelasan, posisi

pengelasan, macam elektrode dan diameter inti elektrode. dalam hal ini daerah lasan mempunyai kapasitas panas yang tinggi, maka dengan sendirinya diperlukan arus las yang tinggi dan mungkin diperlukan pemanasan tambahan .bila ada kemungkinan terjadinya retak panas.Seperti pada baja tahan karat austenit maka dengan sendirinya harus diusahakan menggunakan arus yang kecil, sedang untuk baja paduan dimana daerah HAZ mudah mengeras ,maka diusahakan pendinginan dengan pelan serta diperlukan arus yang besar.

2.1.3.Kecepatan pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elktroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan. Adapun hal yang berhubungan dengan tegangan dan arus adalah kecepatan las, sebenarnya hampir tidak ada hubunganya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan arus las .karena itu pengelasan yang cepat memerlukan arus yang tinggi Bila arus dan tegangan dibuat tetap, sedang kecepatan pengelasan dinaikan maka jumlah diposit persatuan panjang panjang las jadi menerun, tetapi sampai kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusannya, bila kecepatan dinaikan terus maka masukan panas persatuan panjang juga akan menjadi kecil,sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat memperkeras daerah HAZ. Pada umumnya dalam pelaksanaan kecepatan selalu diusahakan setinggi tingginya tetapi belum merusak kualitas manik las. Pengalaman juga menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan semakin kcil perubahan bentuk yang terjadi.

2.1.4. Polaritas listrik

Pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. pemilihan polaritas ini tergantung dari bahan pembungkus elektroda, kondisi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan. Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus dimana elektroda dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya kapasitas panas kecil seperti pada plat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritas balik dimana elektroda dihubungkan dengan kutub negatif. Untuk menurunkan penembusan misalnya dalam pengelasan baja tahan karat austenit atau pada pengelasan pelapisan keras, sebaiknya elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak balik, terutama pada pengelasan dengan arus yang rendah. tetapi untuk pengelasan sambungan pendek pendek lebih baik menggunakan arus searah agar tidak sering terjadi ledakan busur pada akhir dari pengelasan.

2.1.5. Besarnya penembusan atau penetrasi

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan besarnya penembusan tergantung dari sifat flux, polaritas, besarnya arus, besarnya kecepatan pengelasan dan tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya, sedangkan tegangan memberikan pengaruh yang sebaliknya, yaitu semakin besar tegangan maka semakin panjang busur

yang terjadi dan makin tidak terpusat sehingga panasnya semakin melebar dan menghasilkan panas yang lebar dan dangkal.

Peralatan yang dipergunakan untuk proses pengelasan yang biasanya disebut mesin las dan secara garis besar mesin las diperinci mempunyai 6 spesifikasi seperti dibawah ini:

1. Jenis pembangkit listriknya
2. Jenis perubah amper lasnya
3. Jenis arus yang dikeluarkan AC atau DC
4. Karakteristik mesin las tersebut CC atau CV
5. Kapasitasnya
6. Duty cyclenya

Panas yang dihasilkan dalam pelaksanaan proses pengelasan ini dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

Energi input untuk welding:

$$H = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Energi pada Arc Welding:

$$H = \frac{E \cdot I \cdot F l}{v} \quad (2)$$

Dimana :

H: energi input [joule/mm]

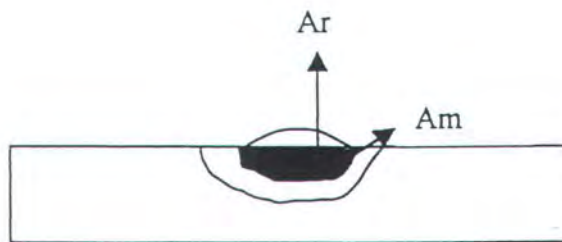
P; total input power[watt]

V; Kecepatan pengelasan[mm]

E; voltage[V]

I: amphere[A}

F1: efesiensi heat transfer[0.8-1]



Gambar.2.1.CSA weld metal

CSA weld metal $A_w = A_r + A_m$

Quantity of heat $Q = (T_m + 273)^2 / (3 \times 10^5) \text{ J/mm}^2$

$$F_2 = \frac{Q A_w}{H_{net}} = \frac{Q A_w V}{F_1 E I} \quad (3)$$

F_2 = min panas arc yang dibutuhkan dari melting dibagi π (phi)

Adapun relatif ketebalan material adalah:

Material tebal jika $\tau = < 0.6$

Material tipis jika $\tau = < 0.9$

Adapun perumusan tentang ketebalan material adalah :

$$\tau = t - \sqrt{\frac{\rho C (T_c - T_o)}{H_{net}}} \quad (\text{soeweify, 1994}) \quad (4)$$

Dimana : t : tebal plat

C ; Spesifik heat

T_c : temperatur sampai terjadinya kristal tetap

T_o : Temperatur Unifofrm

H_{net} : net energy input

II.2.2. Macam-macam *pass* (layer) pada daerah pengelasan

Dalam suatu pengelasan material harus memperhatikan jenis material yang dipakai, ketebalan material, type sambungan, type dan ukuran elektrode dan posisi pengelasan akan menentukan proses pengelasan yaitu banyak *pass* (layer) yang dipakai (Jeffus, 1992). Adapun macam-macam *pass* dalam pengelasan adalah sebagai berikut:

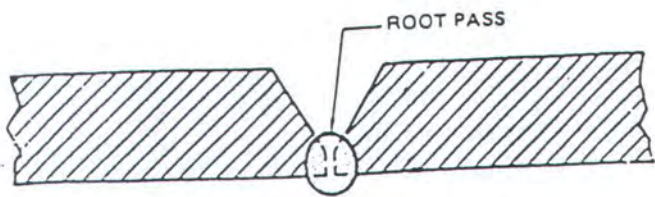
2.2.1. Root pass

Root pass adalah pengelasan pertama dari beberapa *pass*(layer) las-lasan dan berfungsi untuk menggabungkan dua material induk menjadi satu dan menyeimbangkan penetrasi weld metal pada kedalaman tertentu. Root pass yang bagus diperlukan untuk menghasilkan las-lasan yang kuat dan pengelasan root mungkin terbuka atau tertutup yaitu cara penyambungan dengan rootpas dibantu oleh penyangga baja atau memakai backing ring. Tetapi bila antara kedua base metal terbukanya terlalu besar maka akan mengakibatkan penyangga tersebut menjadi bagian dari pengelasan material atau akna dilepas, sebab bila dibiarkan penyangga akan penambahan konsentrasi tegangan sepanjang penyangga tersebut. Pada plate penyambungan pada kedua plate pada sisi yang dilas haruslah dibersihkan pada sisi yang akan dilas. Pengelasan root terbuka biasanya dipergunakan pada desain pipa dan plate, dimana bagian muka lebih penting daripada bagian samping atau bawaah. Pada prakteknya *open root weld*, welder memakai pada plate *mild steel* dengan ketebalan 3mm sedang pada plate

tipis membutuhkan welder yang skillnya memadai. Dua metode dalam pembuatan root pass yaitu hanya menggabungkan dengan tidak atau root gap kecil, dimana membutuhkan amphere yang tinggi dan panjang arc pendek, sedang metode kedua yaitu pada sambungan menggunakan lebar, *narrow*, atau variasai root gap, dimana elekterode bergerak masuk dan keluar pada molten weld pool pada waktu pengelasan sepanjang sambungan, akan tetapi metode ini membutuhkan skill yang tinggi tetapi hasilnya adalah bebas *defect* .Pengaruh pengelasan root terbuka adalah pada perubahan ukuran *molten weld bead* ,dimana perubahan tersebut pengaruhnya dapat dilihat sebagai berikut:

Table 2.1.Pengaruh perubahan ukuran *molten weld bead*

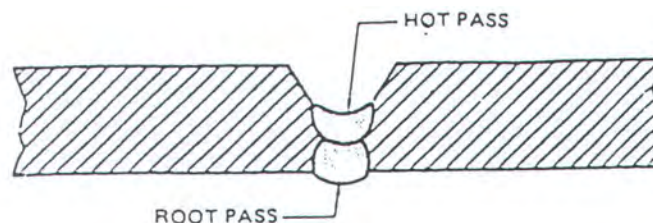
Perubahan molten	Ampere	Kecepatan pengelasan	Ukuran elektrode	Sudut pengelasan
Ukuran molten turun	turun	naik	turun	rata
Ukuran molten naik	naik	turun	naik	Berubah-ubah



Gambar2.2.Root pass

2.2.2. Hot pass

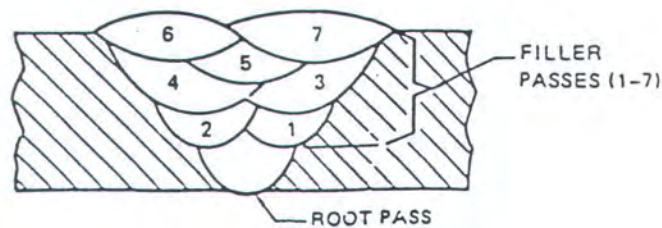
Permukaan dari pass dasar (root pass) mungkin irreguler, dimana akan terjadi under cut, over lap, slag inclusion atau yang lainnya tergantung dari tipe dari pengelasan ,standar dan kondisi dari pass dasar (root pass) Permukaan dari root pass dapat dibersihkan dengan menggerinda atau dengan perlakuan hoot pass. Cara cepat untuk membersihkan slag dan membuat root pass yang lebih mulus adalah menggunakan hoot pass. Hoot pass menggunakan setting arus yang lebih tinggi dan gerakan ayunan yang lebih cepat untuk membentuk kembali manik-manik dan menghilangkan slag. Adapun cara yang ideal untuk melakukan hot pass dengangan melakukan pencairan pengelasan yang cepat pada permukaan yang luas sehingga slag dapat mengikuti permukaan las-lasan. Hot pass dapat juga untuk memperbaiki dari incomplite fusion atau mengisi *pin holes* .Teknik hot pass digunakan untuk membersihkan lasa-lasan tetapi mungkin juga masih diperlukan penggerindaan maupun penggougingan untuk perbaikan, dimana pada penetrasi molten weld pool yang dalam cukup bebas terjadinya slag dan porosity.



Gambar 2.3. Hot pass

2.2.3. Filler Pass

Setelah root pass dilakukan dan telah disempurnakan mengerinda atau menggunakan hot pass, alur las-lasan diisi dengan weld metal, dimana pengelasan selanjutnya dinamakan filler pass dan sering kali filler pass lebih dari satu kali dilakukan. Filler pass dibuat dengan stringer bead atau weave bead, untuk pengelasan dengan pass banyak, weld beads harus overlap sepanjang sudut pengelasan sebelumnya dan sampai beads akhir yang *smooth*. Dalam pengelasan selanjutnya alur filler pass terdahulu harus dibersihkan terlebih dahulu, hal ini karena adanya slag yang tertinggal pada plate diantara lasan yang tidak sempurna karena ampere yang rendah. Dimana seharusnya penetrasi yang dalam diperlukan supaya filler dapat menggabung sempurna pada base metal. Perbaikan dengan jalan chipping, wire brushing maupun mengerinda merupakan jalan yang terbaik untuk menghindari slag yang beradapada lasan filler pass.

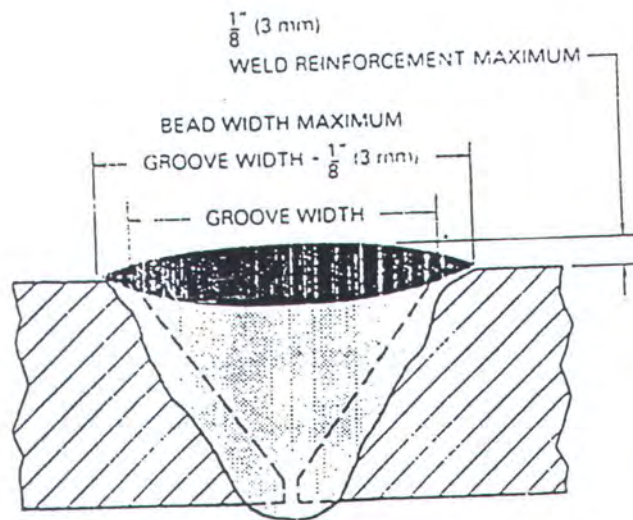


Gambar.2.4. Filler pass

2.2.4. Cover Pass

Pengelasan yang terakhir dari pengelasan multipass dinamakan cover pass. Cover pass dimungkinkan menggunakan ayunan elektroda yang

berbeda atau sama dengan yang dilakukan pada filler pass. Penutupan cover pass yang teratur dan tidak terlihat adalah sangat penting, diman pengelasan ini tidak dilakukan test tetapi hanya dilihat secara langsung .Cover pass harus bebas dari kerusakan yang dapat dilihat langsung yaitu under cut, overlap, porosity, atau slag inclusion dan lebar cover pass harus tidak lebih dari 3mm pada groove yang terbuka karena lebarnya tidak tergabung dalm kekuatan las-lasan.



Gambar 2.5. Cover pass

II.2.3. Aliran Panas pada proses pengelasan

2.3.1. Konsep aliran panas .

Konsep aliran panas hampir sama dengan aliran air pada porous medium, yaitu air diumpamakan energy (q) dimana *spesifik water level* pada poros medium A adalah *specific temperature*. Pores pada A diumpamakan panas *specific* dari material, karena perhitungan tahanan pada water level naik atau

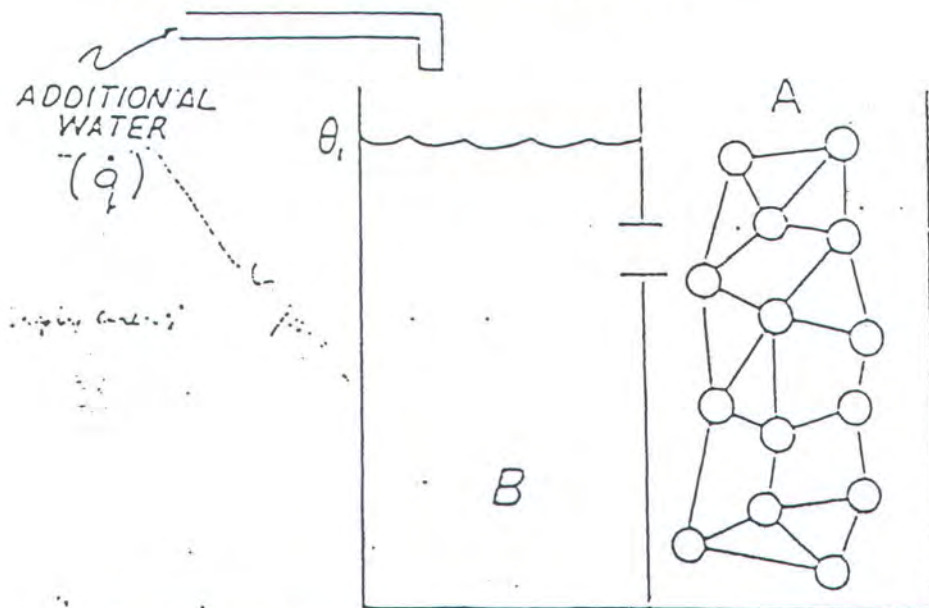
temperature naik (perhatikan gambar 2.6). Pada penggabungan terjadi saling keterkaitan pada pores yang diumpamakan thermal conductivity pada material. Karena perhitungan dari kecepatan air dan aliran energy dari phenomena aliran panas tersebut dan interaksinya dengan properti fisik, maka termal diffusivity dirumuskan :

$$K = \lambda / \rho C_p \quad (5)$$

Dimana : k = termal diffusivity(cm^2 / sec)

λ = thermal conductivity($\text{cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$)

ρC_p =Spesifik heat dan density($\text{cal} / \text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$)



Gambar.2.6. Analogi aliran panas pada poros medium

2.3.2.Konduktivitas aliran panas pada satu dimensi

Pada gambar 2.7 adalah gambar dari sebuah plate tipis dengan ketebalan d_x dimana terjadi resultan aliran panas pada kenaikan temperatur dari bagian θ_x sampai $\theta_x + (\partial \theta / \partial x) dx$. Kenaikan temperatur ini sesuai dengan kenaikan energy internal. Jika energy input dan output dikembangkan seperti gambar

2.7 dengan prinsip energy, maka perbedaannya sama dengan perubahan pada energi internal, dimana waktu rata-rata perubahan pada energi internal per unit volume dituliskan $\rho C_p (\partial \theta / \partial t)$, maka perumusannya sebagai berikut:

$$q_x A - \left[q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \right] A = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} A dx \quad (6)$$

hukum fourier untuk kondisi konduksi panas adalah :

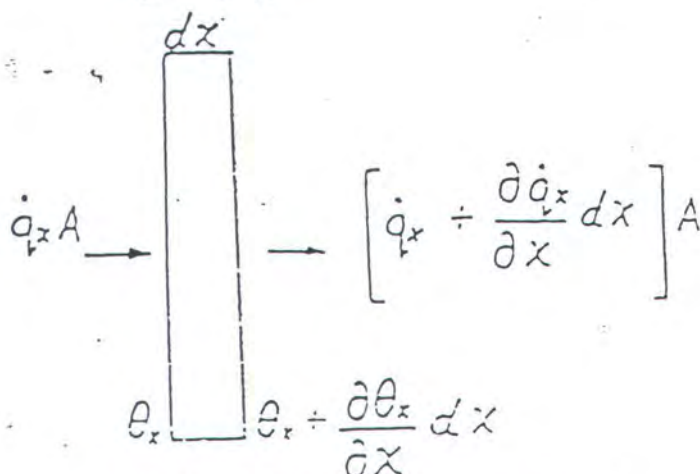
$$q_x = \frac{-\lambda \partial \theta}{\partial x} \quad (7)$$

dari persamaan diatas maka dirumuskan:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda \partial \theta}{\partial x} \right) = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (8)$$

ini merupakan persamaan dasar dari konduksi panas pada solid body satu dimensi. akan tetapi pada kenyataanya properti ρ , λ dan C_p adalah non linier maka untuk penurunannya sangat sulit dalam penyelesaian akhirnya maka direduksi derajat kebebasanya dan propertis fisik (λ , ρ , C_p) dianggap konstan maka persamaan menjadi:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{k} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (9)$$



Gambar.2.7 aliran panas pada plate tipis

2.3.3. Aliran panas dua dimensi dengan *moving koordinat sytem*.

Masalah aliran panas pada dua dimensi pada pengelasan ,penyelesaiannya dapat mempergunakan moving koordinat sistem (w, y, z) yang mana $w = x - vt$ dimana t waktu dan v kecepatan pengelasan pada moving koordinat, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8, dimana dalam hal ini analisa aliran panas dilakukan dua dimensi dan temperature pada sumbu z diasumsikan suhu konstan pada daerah 6 sampai daerah $6'$ dan dibawahnya dengan model diasumsikan pada sebuah plate tipis . Simplikasinya untuk matematika model dilakukan untuk analisa pada daerah quasi-stationary. Jika termocouple terjadi didekat lasan dan jarak sepanjang lasan pada awal sampai akhir, dimana termocouple merupakan plot produk individu temperature versus waktu. Pada gambar 2.9 dapat dilihat tiga kondisi pada aliran panas dapat diteliti, yaitu: initial, quasi-stationary and final. Untuk kondisi quasi-stationary lebih banyak diperhatikan, karena masalah tersebut dapat diselesaikan pada aliran panas tetap, dengan mempergunakan moving coordinat sistem .Keseimbangan energy untuk aliran panas tetap analog dengan aliran panas satu dimensi. Pada gambar 2.10 terlihat kontrol volume A, pergerakan busur las dengan moving koordinat rata-rata indentik energi masuk bergerak minus menuju energi keluar, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.10 dimana sama dengan waktu rata-rata perubahan internal energi per unit volume pada kasus satu dimensi. Terms A dan terms D adalah konduktive terms sama dengan yang digunakan pada analisa satu dimensi, terms(E) dan terms (F) adalah covection terms. konveksi ini tidak diartikan

dengan pergerakan udara pada permukaan plate, dimana analisa diabaikan tetapi konveksi akibat pergerakan control volume berpengaruh. Pergerakan control volume menyebabkan aliran pada mettalic material bergerak yang mana efeknya adalah keseimbangan energi.

Pengembangan energi yang dikeluarkan dari energi yang masuk dan persamaaan diferensial pada energi internal dapat ditulis:

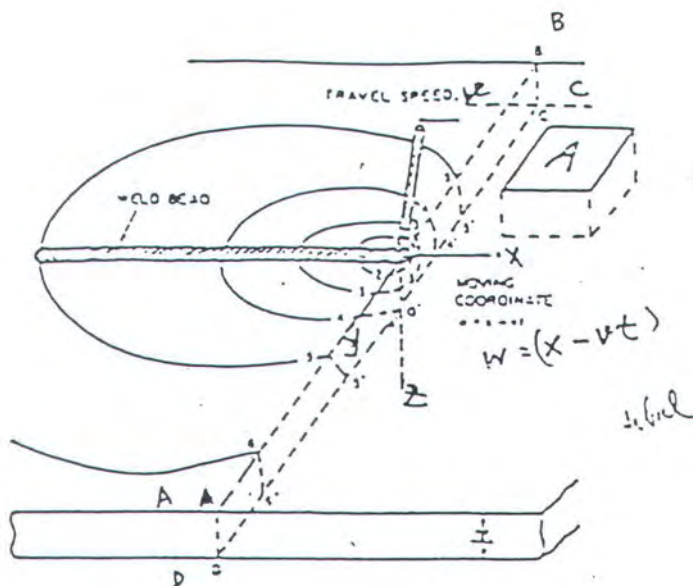
$$\frac{\partial}{\partial w} \left(\frac{\lambda \partial \theta}{\partial w} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda \partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial w} (\rho C_p v \theta) = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (10)$$

dimana λ, ρ, C_p tidak tergantung temperature .Jika asumsi ini dipakai maka persamaan 9 dapat ditulisebagai berikut

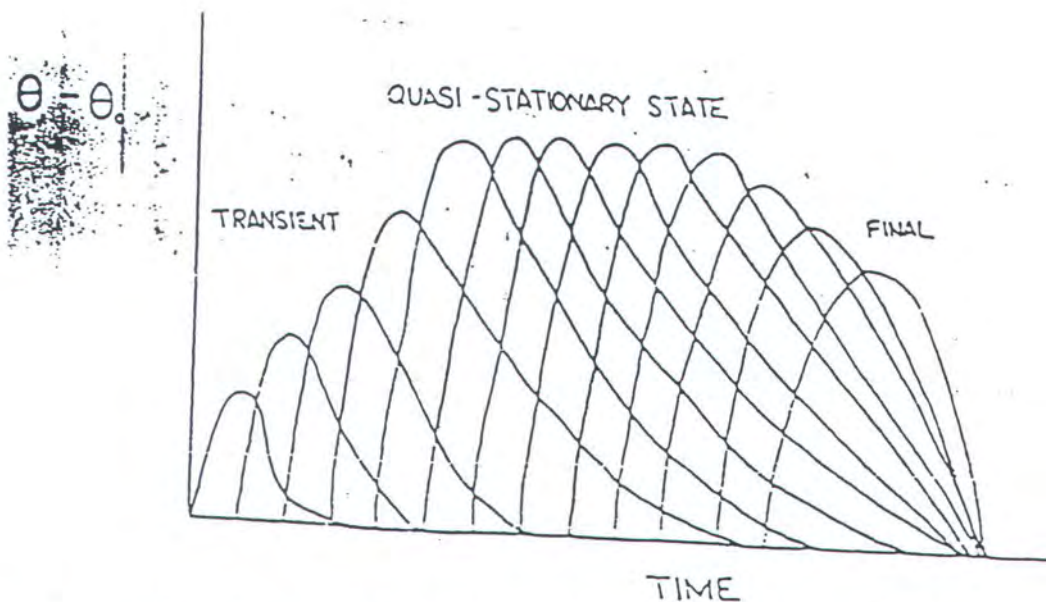
$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial w^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{v}{\kappa} \frac{\partial \theta}{\partial w} = \frac{1}{\kappa} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (11)$$

dua term pada bagian kiri adalah konduksi terms, ketika $v \partial \theta / \partial w$ terms Konveksi, dan harus konsekuen penggunaan moving koordinat sistem. Utamanya karena analisa dilakukan pada kondisi quasi stationary $\partial \theta / \partial t = 0$, maka persamaanya menjadi :

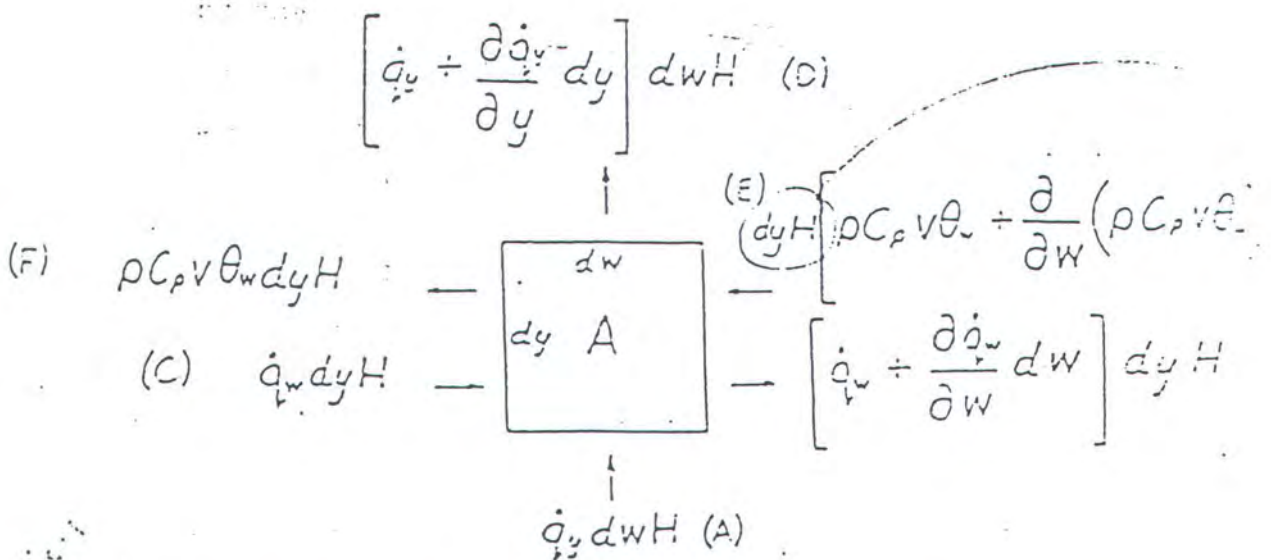
$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial w^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = \frac{-v}{k} \frac{\partial \theta}{\partial w} \quad (12)$$



Gambar 2.8. Aliran panas pengelasan dua dimensi dengan moving koordinat sistem (EWI,1986)



Gambar 2.9. Analisa perbedaan tahapan pada proses pengelasan (EWI,1986)



Gambar 2.10. Control volume yang dipengaruhi konduktive dan konvektive (EWI, 1986)

2.3.4. Aliran panas tiga dimensi dengan moving koordinat sistem

Persamaan diferensial aliran panas secara umum pada tiga dimensi dapat dirumuskan:

$$\frac{\partial}{\partial w} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial w} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial w} (\rho C_p v \theta) = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (13)$$

Tiga terms utama pada kiri adalah terms konduksidan term keempat adalah terms konveksi, jika properti fisik konstan dan asumsi pada kondisi quasi-stationary maka persamaanya menjadi

$$\frac{\partial' \theta}{\partial w'} + \frac{\partial \theta}{\partial y'} + \frac{\partial' \theta}{\partial z'} = \frac{-v}{k} \frac{\partial \theta}{\partial w} \quad (14)$$

penyelesaian persamaan 12 adalah untuk tipe yang spesifik pada plate geometri dan sumber panas diasumsikan dan kondisi batas diformulasikan dengan saumsi dasar pada plate geometry.

Solusi pertama dari persamaan 12 untuk plate sangat tebal, asumsi pertama dapat dibuat jarak yang diinginkan dari *welding arc* dimana temperature θ dan preheat temperatur θ_0 jika r di definisikan :

$$r = \sqrt{w'^2 + y'^2 + z'^2} \quad (15)$$

dimana matematisnya diasumsikan :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\partial \theta}{\partial r} = 0 \quad (16)$$

Pengaruhnya pada semua solusi, diasumsikan energi pada welding arc terkonsentrasi pada titik pusat pada permukaan plate, maka persamaanya adalah:

$$\lim_{r \rightarrow 0}^{-2\pi r} \frac{\partial \theta}{\partial r} = \eta EI \quad (17)$$

Jumlah $\eta_a EI$ is net energi input dari welding arc, dimana E welding voltage, I welding current dan η efisiensi heat tranfers, asumsi dan jumlah solusi diketahui pada rosenthal,s point source theory. Asumsi final dapat dibuat untuk permukaan plate dimana terjadi proses adibiatik ,tetapi tidak terjadi *convective head loss* dengan asumsi

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \text{ untuk } Z=0 \text{ dan } r \neq 0 \quad (18)$$

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

persamaan (16) dan (18) merupakan kondisi batas untuk penyelesaian persamaan (14), dengan menggunakan kondisi batas dan asumsi dibuat dari persamaan(17), maka penyelesaian umum untuk plate tebal adalah:

$$\theta - \theta_0 = \frac{\eta EI}{2\pi\lambda r} e^{\frac{r(\dots)}{2r}} \quad (19)$$

dimana: λ, ρ, C_p : Propertis material

v : Kecepatan pengelasan

E : Voltage

I : Arus

η : effesiensi heat transfer

θ_0 : pre heat temperature

θ : temperature akhir

Persamaan (19) tidak akurat pada titik dekat welding arc karena titik sumber panas diasumsikan. Sebagai catatan jika $r = 0$ themperature sama dengan tak hingga.

Mari kita perhatikan penyelesaian persamaan (14) untuk ketebalan plate intermediate,dipilih penyelesaian yang menggunakan kondisi batas pada persamaan(16) dan persamaan (18),persamaan (18) diexpansikan pada

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \text{ untuk } z = 0, z = H, \text{ dan } r \neq 0 \quad (20)$$

Dimana H adalah ketebalan plate,Persamaan deferensial(14) adalah persamaan linier dan kondisi batas adalh persamaan (16) dan persamaan (20) yang homegeneus yang mana menggunakan prinsip super posisi penjumlah linier yang dipakai pada persamaan (19) .

Penggunaan solusi untuk plate tebal pada persamaan (19) dibuat pada distribusi tempertaure pada curva 1.kondisi $\partial\theta/\partial z = 0$,tidak memuaskan pada $z= H$ karena kurva ada titik kemiringan .catatan jika $H \rightarrow \infty$ maka $\partial\theta/\partial z = 0$,karena solusi kondisi memuaskan untuk plate tebal .bila ada dua plate tebal digabung pada dua curve digabung selamanya, kemiringan nol, ketebalan plate H adalah penggabungan sumber panas pada pemakaian bagian pada plate. Pada $Z = H$ (point A) dan $\partial\theta/\partial z = 0$ pada $z= H$ tetapi $z=0$ (point B) $\partial\theta/\partial z \neq 0$.Jika digabung sekarang tiga plate tebaltetapi kenaikan ketebalan oleh H dan sumber panas pada $z=0$.maka matematis persamaanya plate tipis dengan $\partial\theta/\partial z = 0$ untuk $z=0$ dan $z=H$ adalah:

$$\theta - \theta_0 = \frac{\eta EI e^{-vw/2k}}{2\pi r} \left[\frac{e^{-v/2k}}{r} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{e^{-vr1/2k}}{r1} + \frac{e^{-vr2/2k}}{r2} \right) \right] \quad (21)$$

dimana: $r1 = w^2 + y^2 + (2nH - z)^2$

$$r2 = w^2 + y^2 + (2nH + z)^2$$

untuk praktisnya infinitive series ini konvergen pada 5 sampai 15 penyelesaian dan sudah dianggap lebih akurat. Sedangkan untuk Plate sangat tipis persamaanya diperoleh dari penurunan persamaan plate tebal, yaitu:

$$\theta - \theta_0 = \frac{\eta EI}{2\pi\lambda H} e^{-vw/2k} Ko(vr/2k) \quad (22)$$

Dimana: Ko = Fungsi bessel pada second kind dan order nol.

II.2.4. Perumusan jumlah pass pengelasan

Perumusan banyaknya lapisan (pass) pengelasan biasanya dari pengalaman pengalaman welder, dimana lalu dibuat rumusan lapangan (empirik) yang biasanya dijadikan acuan dalam pengelasan selanjutnya, adapun dalam realitanya penentuan jumlah pass merupakan fungsi dari diameter elektrode, dimana besar kecilnya diameter elektrode sangat menentukan jumlah pass yang terjadi, dan perumusannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlahpass} = \frac{\text{WeldDeposit}}{\text{Elektroderequired} * 0.7}$$

(23)

dapun perumusan tentang *weld deposit* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Weld deposit (lb/ft)} = \text{cross-sectional area (in}^2\text{)} \times 0.283(\text{lb/in}^3) \times 12 \quad (24)$$

Perhitungan dari cross sectional area (CSA) dapat dilihat di lampiran (Carry, 1986), adapun konstanta 0.283 adalah massa jenis, sedang konstanta 12 adalah konversi dari inch ke feet.

Sedang perumusan *elektrode required* dapat ditulis:

$$\text{Elektrode required} = \text{kecepatan pengelasan (V)} \times \text{deposit rate} \quad (25)$$

Penentuan deposit rate dapat dilihat pada grafik pada lampiran

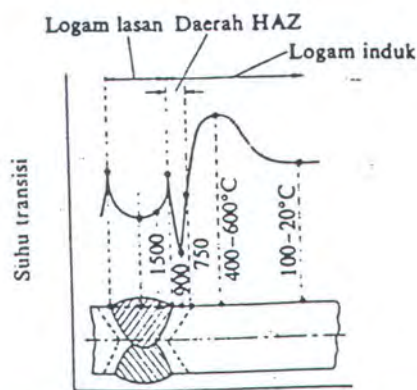
Gambar 2.11. grafik deposit rate (AW Handbook, 1995)

Cara mencari deposit rate adalah setelah tahu arus dari input maka diplotkan pada grafik deposit rate, baru diketahui deposit rate yang dipakai.

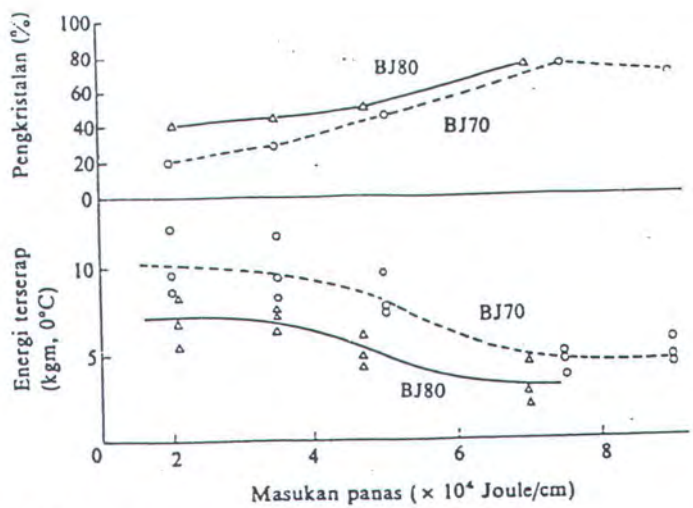
II.2.5. Pengaruh heat input terhadap ketangguhan dan kekuatan batas las.

Struktur logam pada daerah pengaruh panas (HAZ) berubah secara berangsur dari struktur logam pada daerah pengaruh panas kesetruktur logam las.

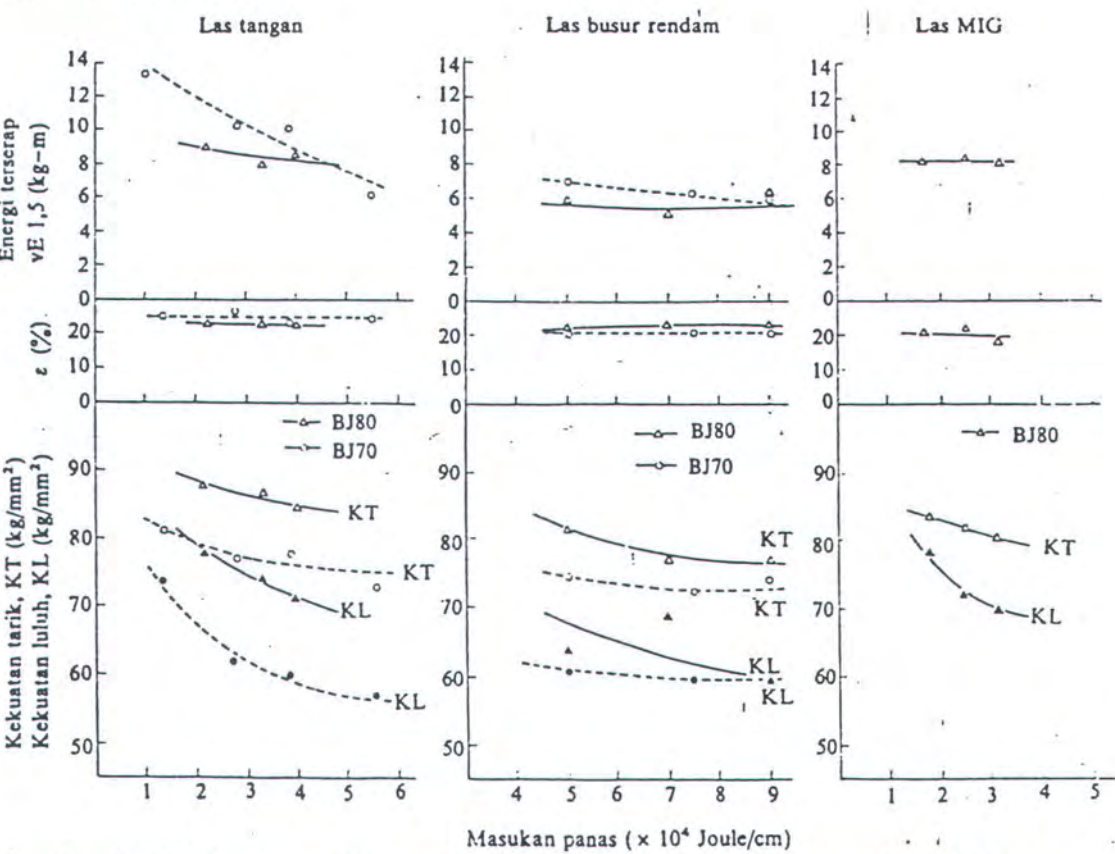
kristal tumbuh dengan cepat dan membentuk butir butir kasar yang dinamakan daerah batas las (Okumura,1979), didalam daerah HAZ besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Pada daerah batas las dimana butiran-butirannya sangat kasar logam menjadi sangat getas maka disebut penggetasan batas las. Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butiran-butiran kasar atau terbentuknya struktur bainit keatas pada gambar 2.14 dapat dilihat hubungan antara ketangghhan batas las dan masukan panas dari baja kekutan 60 kg/mm^2 dan 80 kg/mm^2 . Pada baja kekutan 80 kg/mm^2 , tingkat kegetasan yang terjadi karena perubahan masukan panas lebih besar bila dibandingkan dengan baja kekuatan 60 kg/mm^2 . Sedang pada gambar 2.15 ditunjukan hubungan antara masukan panas dan kekuatan takik pada batas las untuk baja BJ70 dan BJ80 sedang pada gambar 2.16 ditunjukan hubungan hubungan antara masukan panas dan sifat mekanik logam las yang dikaitkan dengan beberapa cara pengelasan, Dimana dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa ketangguhan dan kekutan daerah las menurun bila masukan panas naik.



Gambar.2.14. Pengaruh masukan panas pada sifat tumbuk (Okumura,1979)



Gambar.2.15. Hubungan antara masukan panas dan kekuatan takik pada batas las (Okumura,1979)



Gambar.2.16 Hubungan sifat mekanik dan masukan panas pada bebebrapa pengelasan (Okumura,1979)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

“Tidaklah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan studi numerik yang dilakukan pada penulisan ini dapat dijelaskan secara lebih terperinci sebagai berikut:

1. Tahap indentifikasi permasalahan.

Karena seringkali terjadi permasalahan yang timbul pada proses pengelasan dimana akan berakibat terhadap hasil las-lasan yang kurang baik maka perlu dilakukan penelitian-penelitian baik melalui studi experimental maupun studi secara numerik. Hasil-hasil pada proses pengelasan banyak dipengaruhi berbagai faktor, salah satunya adalah akibat pengaruh jumlah pass (layer). Jumlah pass sangat berpengaruh terhadap besarnya heat input yang terjadi. Seperti diketahui pengelasan dipengaruhi oleh temperature yaitu, untuk antar layer dipengaruhi oleh temperature inter pass dan temperature preheat pada plat yang tebal. Bila temperature antar pass tidak diperhatikan akan berpengaruh terhadap hasil las-lasan yaitu menimbulkan retak, sedang untuk plat tebal temperature dipakai semakin tinggi, maka akan menaikkan besarnya heat input, hal ini akan menyebabkan pengaruh yang besar terhadap lebar HAZ dan sifat *ductility* hasil lasan. Sedang besar diameter elektrode juga mempengaruhi besarnya heat input, akan tetapi bila heat input terlalu besar akan menyebabkan *under cut* pada las-lasan. Temperature yang tinggi akan menyebabkan daerah HAZ yang semakin lebar pada las-lasan yang menyebabkan *brittle* (getas), maka untuk itu diperlukan

analisa pada daerah sekitar las-lasan untuk mengetahui distribusi temperature yang terjadi .

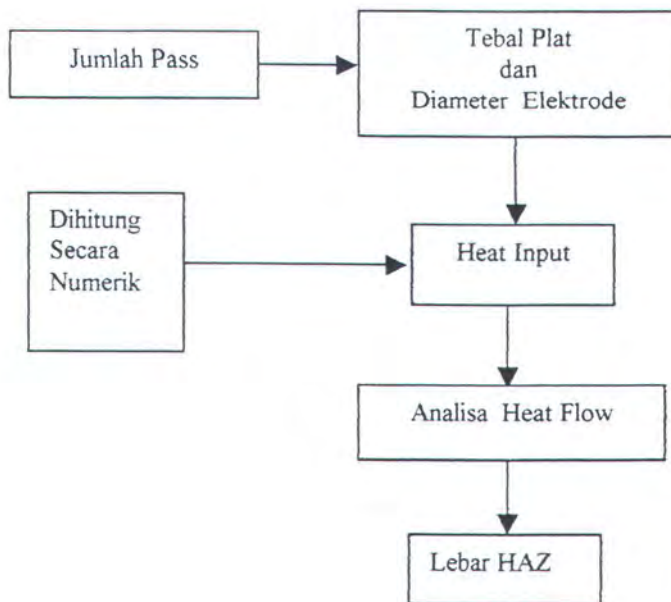
Permasalahan yang terjadi dalam tugas akhir ini adalah seberapa berpengaruhnya jumlah pass pada hasil pengelasan terhadap heat input yang dibutuhkan, karena heat input berpengaruh terhadap distribusi temperature yang terjadi pada daerah sekitar las-lasan dan menentukan lebar HAZ yang terjadi, sedang lebar HAZ akan mempengaruhi hasil dari pengelasan. Penentuan jumlah pass sangat dipengaruhi oleh ketebalan plat dan diameter elektrode yang dipakai. Dalam penulisan ini mencoba berbagai variasi ketebalan material dan diameter elektrode dengan acuan setandar AWS D1.1-98 Struktural welding code steel dan welding technology (Cary,1994).

2.Data

Data yang diperlukan dalam penulisan ini dalah data material, diameter elektrode, variabel- variabel heat input dan jumlah pass yang biasa dipakai, dimana data-data tersebut diperoleh dari studi literature dari literature standar yang telah ada, seperti AWS D1.1-98 Struktural welding code steel , Modern Welding Technology, Product catalogue,1998 ESAB.

3.Permodelan

Dari data yang diperoleh akan dibuat input untuk permodelan, dimana permodelan tersebut adalah menentukan heat input dan distribusi temperature yang terjadi dengan menggunakan analisa konduktivitas panas dengan pemakaian perumusan rosenthal source theory, adapapun permodelan dapat dilihat pada bagan dibawah ini:



Adapun model yang dipergunakan adalah variasi ketebalan material, diameter elektrode dan jumlah pass ,dan model yang pertama dalah sesuai dengan standar yang telah ada ,sedang model yang lain divariasikan .

4.Pembuatan Program.

Dari permodelan yang ada maka dibuat penyelesaiannya dengan dibantu oleh komputer dengan program bantu bahasa delphi ,dari program tersebut akan dibuat tampilan pada input maupun pada outputnya, akan tetapi dalam penyelesaian model adalah satu persatu memasukan input model yang akan dianalisa dengan berbagai variasi data diameter elektrode, data ketebalan material dan jumlah pass yang diinginkan .

5. Analisa Hasil

Setelah beberapa model yang sudah divariasikan dihitung menggunakan program pada komputer maka akan didapat hasil yaitu meliputi heat input yang terjadi, temperature yang terjadi, lebar HAZ dan grafik hubungan temperature dengan lebar HAZ, dan grafik distribusi temperature pada permukaan baik pada sumbu x maupun pada sumbu y. Dari hasil hasil tersebut akan diketahui bagaimana pengaruh jumlah pass terhadap heat input dan lebar HAZ.

6. Kesimpulan.

Dari hasil akhir analisa akan didapatkan seberapa pengaruh jumlah pass terhadap heat input dan distribusi temperature yang terjadi dengan memvariasikan ketebalan material dan diameter elektrode, dan dengan hasil tersebut diharapkan dapat membantu menentukan heat input yang sesuai dengan jumlah pass yang ditentukan dengan batasan batasan tertentu.

Alur dari pengerjaan program dari studi penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. INPUT

Dalam hal ini input yang dimaksudkan adalah:

- Tebal material.
- Jenis material.

2. DATA BASE

Data base dari program ini diperoleh dari data handbook yang ada seperti dari ESAB & KOBELCO untuk data –data elektrode, dari ASTM untuk

data properti material, dan data desain sambungan diperoleh dari welding tecknology (carry,1995).

4. Perhitungan jumlah pass

Perhitungan jumlah pass dengan mempergunakn rumusan sebagai berikut:

$$jumlahpass = \frac{Welddeposit}{eleltrodereq' * 0.7}$$

adapun weld deposit tergantung ketebalan dan bentuk desain, sedang elektrode req' ditentukan oleh deposit rate yang merupakan fungsi dari arus serta kecepatan.

5. Perhitungan Heat input

Perhitungan heat input dipengaruhi oleh ketebalan, Preheat, melting temperature, kecepatan pengelasan, rumusannya adalah sebagai berikut:

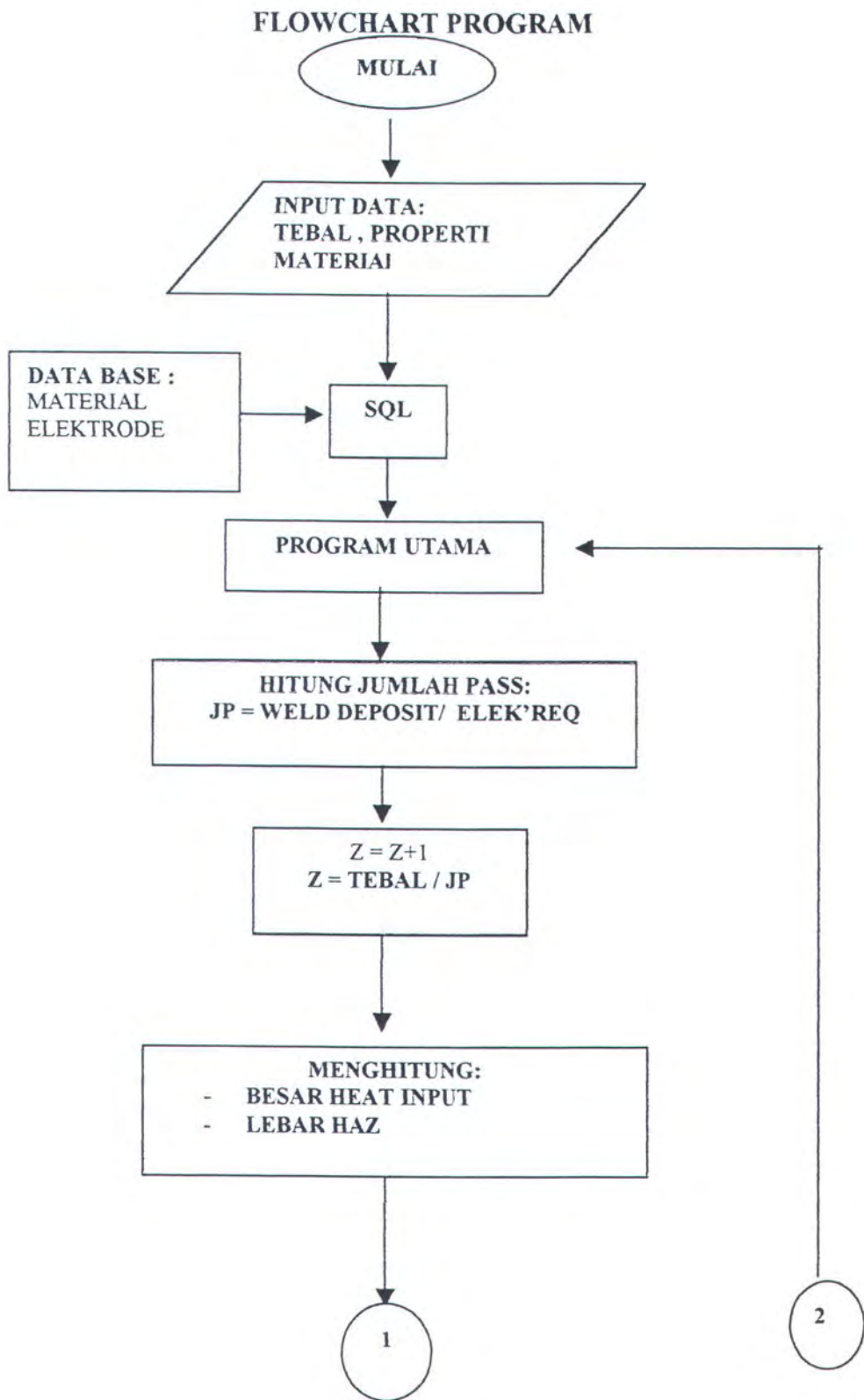
$$H_{net} = \frac{(Tem.melting - preheat) * \lambda * 2 * phi}{e^{-(I' * \pm 2k)}}$$

6. Perhitungan lebar HAZ

$$LebarHAZ = \frac{[1/(Tp - Tm) - 1/(Tm + To)] * H_{net}}{4.13 * \rho * \lambda * tebal}$$

7. Perhitungan distribusi temperatur

$$T - To = \frac{\eta * E * A * e^{-(v * r' / 2k)}}{2 * \lambda * r * phi}$$





BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

“Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Heat input adalah salah satu bagian yang sangat berpengaruh terhadap hasil dari suatu proses pengelasan, dimana dalam penentuan lebar HAZ dipengaruhi oleh besar kecilnya suatu heat input yang diberikan. Dalam penentuan heat input harus melihat faktor lain yang berpengaruh, karena bila heat input yang diberikan terlalu besar akan berpengaruh terhadap base metal, dimana akan terjadi undercut dan bila heat input yang diberikan terlalu kecil maka akan terjadi Incomplete penetration dan slag inclusion. Adapun faktor yang mempengaruhi tersebut adalah jumlah pass yang dipakai pada waktu proses pengelasan, kecepatan pengelasan, voltage dan arus, preheating dan post heating.

Dalam penelitian perhitungan heat input dan distribusi temperatur pengelasan dibutuhkan input sebagai masukan dalam perhitungan jumlah pass, adapun data yang dipakai sebagai input adalah sebagai berikut :

Tebal plat 1	: 25,4 mm(1 inch)
Tebal plat 2	: 19 mm (0.75 inch)
Tebal plat3	: 12,7 mm(0.5 inch)
Elektrode yang dipakai:	
Class	: AWS E6013
Diameter	: 3.2 mm
Voltage	: 22~ 30 volt
Arus	: 60~125 Amphere

Class	: AWS E6013
Diameter	: 4 mm
Voltase	: 22~ 30 volt
Arus	: 105~170 Amphere

Class	: AWS E6013
Diameter	: 5 mm
Voltase	: 22~ 30 volt
Arus	: 150~220 amphere
Preheat temperature	: 200 °C (max)
Melting temperature	: 1530 °C

Adapun untuk data material selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

IV.1.Perhitungan jumlah pass

Sebelum menentukan heat input yang terjadi maka diperlukan perhitungan untuk menentukan jumlah pass ,adapun perhitungan jumlah pass adalah :

$$JumlahPass = \frac{Welddeposit}{kebutuhanelektrode*0.7}$$

weld deposit diketahui dari desain sambungan yang dibuat, dimana dalam program dapat dibuat pada desain editor untuk tebal 2.54 cm dengan bentuk sambungan single V didapat 1.420 lb/feet, plate tebal 1.9 cm dengan bentuk sambungan single V didapat weld deposit 1.43 lb/feet sedang untuk plate 12,7 single V weld deposit 0.7 lb/feet dan kebutuhan elektrode yang dipakai divariasi sesuai dengan diameter elektrode yang ada. Dari data WPS PT PAL

dan American welding handbook maka untuk tebal plat 25,4 mm(1inch), WPS yang dipakai adalah 7 pass dengan pengelasan dua sisi dengan diameter elektrode yang dipakai 3,2mm, 4mm dan 5mm,lalu pada penelitian ini divariasikan untuk jumlah pass 6pass,8pass, 9pass dan10pass.Untuk tebal plate 19mm(0,75inch),WPS yang dipakai oleh PT PAL adalah 9 pass dengan pengelasan satu sisi dengan memakai diameter elektrode 3,2mm, 4mm dan 5mm, kemudian dalam penelitian ini divariasikan jumlah pass ke 4pass, 5pass, 6pass,7pass dan 8pass, sedang untuk tebal plate 12,7 mm(0,5 inch) dari data WPS American Welding Handbook memakai 3pass dengan diameter elektrode yang dipakai 3,2mm dan 4mm, kemudian divariasikan untuk 2pass, 4pass, 5pass, dan 6pass.

4.2.Hasil perhitungan heat input dan lebar HAZ.

Untuk perhitungan heat input secara numerik dengan menggunakan metode heat source teory sangat dipengaruhi oleh melting temperatur, preheating, ketebalan plat,dan jumlah pass ,dimana perumusannya adalah :

$$Heatinputnet(q) = \frac{(T_{melt} - Preheat) * 2 * \phi * \lambda * dz}{\exp(-V * dz / (2 * k))}$$

$$Heatinputrate = \frac{q}{V} \left(\frac{Joule}{cm} \right)$$

Perhitungan lebar HAZ pada dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$LebarHAZ = \frac{((1/(720 - preheat)) - (1/(Meltem - preheat))) * Hrate}{4.13 * Cp * rho * tebal}$$

Dimana: $Cp = 0.433 \text{ joule/gram.}^{\circ}\text{C}$

$Rho = 0.78 \text{ gram/cm}^3$

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

adapun hasil dari perhitungan dengan program dapat dituliskan sebagai berikut:

Tabel 4.1.Heat input untuk plate 1 inch

Variasi jumlah pass(N)

N=6

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ mm
1	3,2	125	9	15433	4,4
2	4	250	11		
3	4	250	11		
4	4	250	11		
5	4	250	12		
6	4	250	12		

N=7

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	140	9	24144	5,8
2	4	200	12		
3	4	200	12		
4	4	200	12		
5	4	240	13		
6	4	240	13		
7	4	240	13		

N=8

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3.2	125	9	31039	7,0
2	4	200	15		
3	4	200	15		
4	4	200	15		
5	4	200	15		
6	4	200	15		
7	4	200	15		
8	4	200	15		

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

N=9

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	125	9	35226	8,1
2	4	200	17		
3	4	200	17		
4	4	200	17		
5	4	200	17		
6	4	200	19		
7	4	200	19		
8	4	200	19		
9	4	240	19		

N=10

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	125	9	38190	9,2
2	4	200	18		
3	4	200	18		
4	4	200	18		
5	4	200	18		
6	4	200	20		
7	4	200	20		
8	4	200	20		
9	4	200	20		
10	4	240	20		

Table 4.2 Heat input untuk 0,75 inch

N=5

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	140	9	15282	3,5
2	4	200	13		
3	4	200	13		
4	5	240	15		
5	5	240	15		

N=6

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	125	9	21881	4,6
2	4	170	15		
3	4	170	15		
4	5	170	17		
5	5	170	17		
6	5	170	17		

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

N=7

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (ampere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	125	9	24576	5,7
2	4	170	17		
3	4	170	17		
4	4	170	17		
5	5	170	17		
6	5	170	18		
7	5	170	18		

N=8

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (ampere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	125	9	27798	6,1
2	4	150	18		
3	4	150	18		
4	4	150	18		
5	5	150	18		
6	5	150	18		
7	5	150	18		
8	5	150	18		

N=9

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (ampere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	125	9	30420	6,9
2	4	150	18		
3	4	150	18		
4	4	150	18		
5	5	150	18		
6	5	150	20		
7	5	150	20		
8	5	150	20		
9	5	150	20		

Table 4.3 Heat input untuk 0,5 inch

N=3

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (ampere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	90	7.5	8959	2,7
2	5	170	8.5		
3	5	170	8.5		

N=4

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (ampere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	90	7	14058	4,1
2	4	170	10		
3	4	170	10		
4	4	170	10		

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

N=5

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (ampere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)	HAZ Mm
1	3,2	90	7,5	20727	6
2	4	125	10		
3	4	125	10		
4	4	125	10		
5	4	125	10		

4.4.Hasil perhitungan distribusi temperature

Hasil distribusi temperature adalah berupa grafik distribusi temperature yang terjadi di didaerah permukaan material las-lasan, adapun hasil perhitungan, dan grafik tersebut dapat dilihat pada lampiran .

4.5. Panduan Penggunaan program *Weld analyser 1.0*

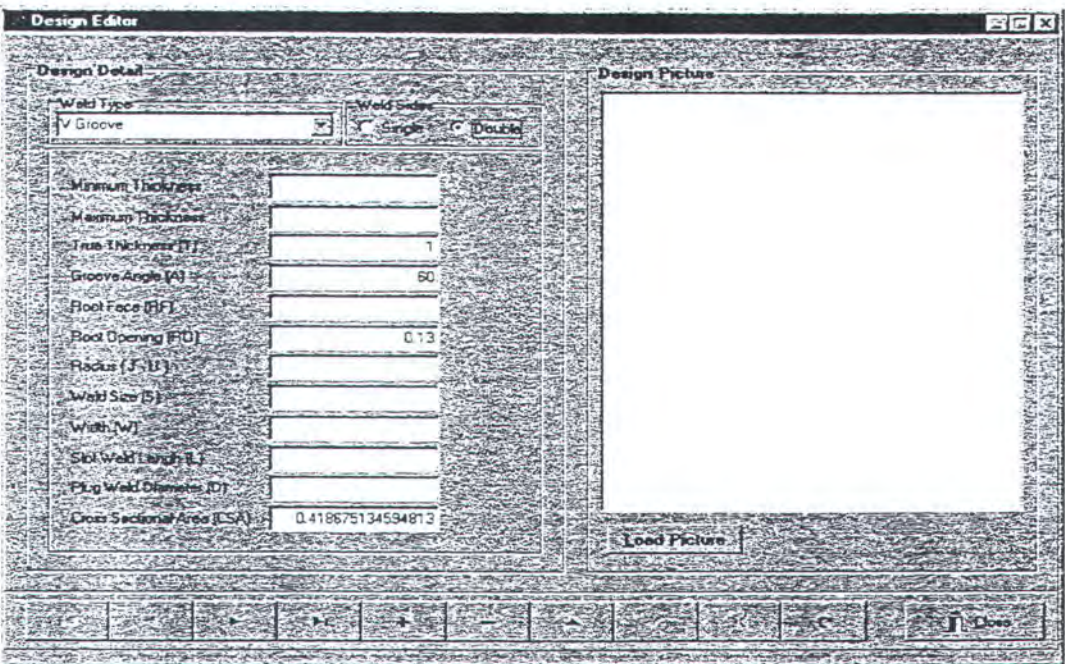
Software *Weld analyser 1.0* adalah software untuk menganalisa heat input yang terjadi dan distribusi temperatur di permukaan base metal waktu pengelasan yang dipengaruhi oleh jumlah pass yang dipakai .Sehingga diharapkan dapat dipergunakan untuk mempermudah dalam menganalisa heat input yang terjadi. Dengan demikian dapat menentukan input yang terjadi berdasarkan hasil yang dipakai dengan melihat ketabalan material yang dipakai

Pembuatan program ini diharapkan dalam mempercepat waktu dan juga dapat lebih menghemat biaya dari penelitian

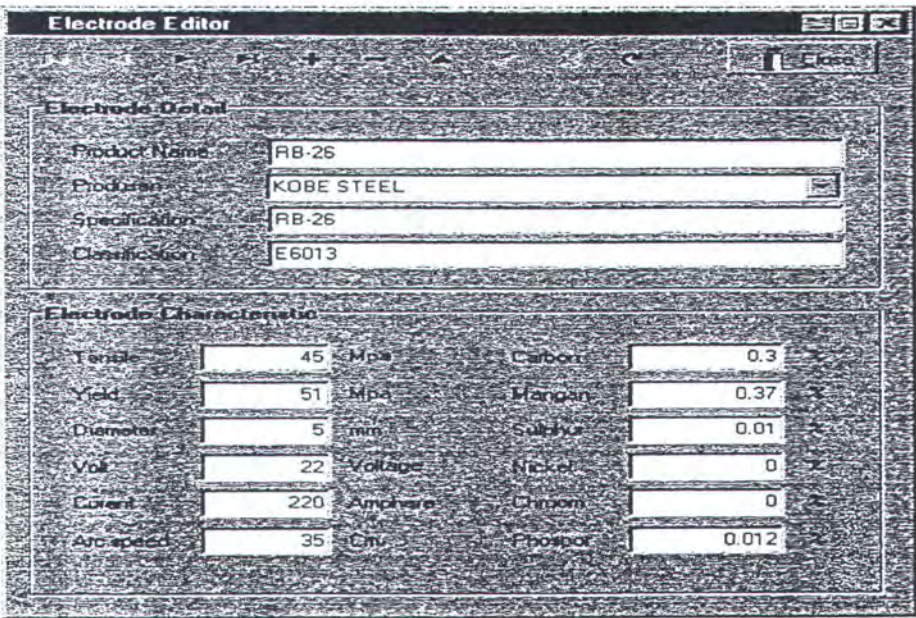
Weld analyser dapat dijalankan pada komputer dengan spesifikasi minimum seperti dibawah ini :

- Processor pentium 166 MHz
- Memory 16 MB

Untuk mengisi weld deposit maka klik desain maka keluar gambar seperti 4.3 dan



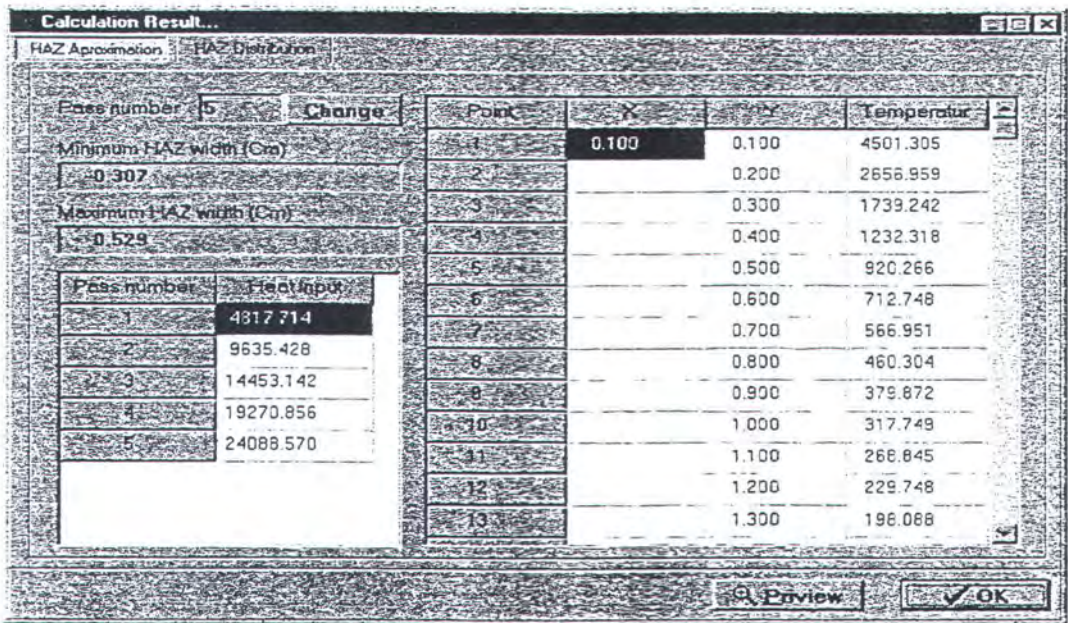
bila ingin memasukan elektrode yang dipakai, maka klik electrode maka keluar gambar seperti gambar4.4



Gambar4.4. Inputan Elektrode

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

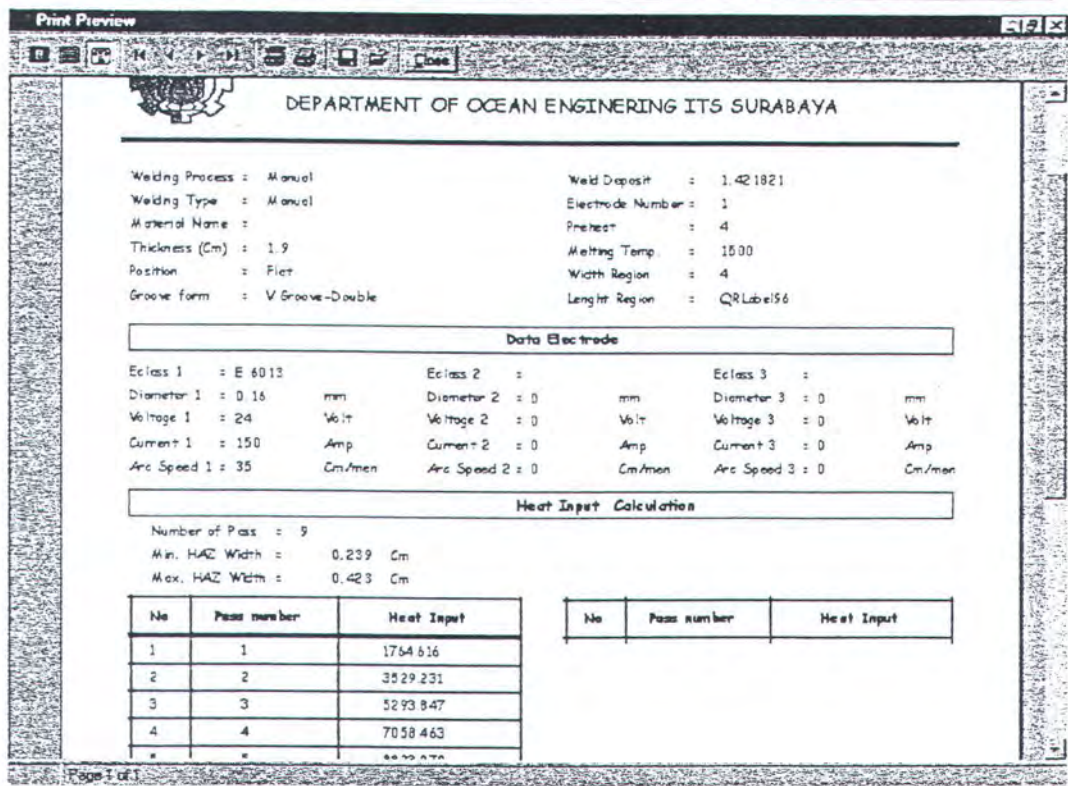
Dari menu utama bila diklik **File, New** , maka keluarlah tampilan Input seperti seperti gambar , setelah input semua dimasukan maka akan melakukan perhitungan dengan menekan button **calculation**, sedang inpuatan seperti elektrode dapat dibuat langsung dengan di input pada key board , tentu debgan panduan **AWS D1.1** atau menglik pada tombol **elektrode** dan penentuan weld deposit dari base metal dapat diisikan pada form **Desain** atau diisikan langsung pada key board dengan panduan dari buku **Welding Technology, Carry**. Setelah button **Start calculation** diclick akan keluar Form Output seperti gambar 4.5 dimana bila ingin mengubah jumlah pass dapat diclick button **Change** ,maka akn berubah hasilnya setelah itu untuk melihat bentuk grafik distri busi temperature yang terjadi maka diclick **HAZ Distribution**. (lihat Lampiran)



Gambar4.5. Output

Adapun hasil dari perhitungan disimpan dalam form report yaitu cara melihat adalah dengan menekan tombol **Preview** ,seperti gambar 4.6

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.6. Report Hasil

4.6. Pembahasan

Banyak faktor yang mempengaruhi besarnya heat input, selain jumlah pass pengaruh besarnya diameter elektroda dalam hal ini input masukan seperti kecepatan,voltase,maupun ampere sangat menentukan besarnya heat input . Dalam perumusan dengan mempergunakan heat source Teori (teori sumber panas), pengaruh ketebalan ,preheat dan temperatur melting sangat menentukan besar kecilnya lebar HAZ ,dimana ini dapat dilihat dalam perbedaan yaitu mempergunakan rumusan heat source teory dengan rumusan umum yang biasa dipakai seperti dibawah ini:

$$\text{Heat Input} = (\text{voltase} * \text{arus}) / \text{kecepatan}$$

Maka rumusan umum tersebut dapat dibuat sebagai pembandingan walupun ada perbedaan hasil, tetapi hasilnya grafiknya masih konvergen diantara keduanya.

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

Untuk perbandingan maka dapat diambil dari sebuah prosedur pengelasan yang telah dibuat dari PT PAL dan experimental untuk plate dengan ketebalan 1 inch, 0,75 inch, dan 0,5 inch, sedang untuk data dari rumusan AWH maka dapat dibuat tabel seperti dibawah ini

Untuk plate tebal 1 inch dengan jumlah pass 7

Tabel 4.4.Data heat input dari rumusan umum,plate 25 mm

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)
1	3,2	120	10	41942
2	4	140	20	
3	4	140	20	
4	4	140	20	
5	4	140	20	
6	4	140	20	
7	4	140	20	

Untuk plate tebal 0,75 inch dengan jumlah pass 7

Tabel 4.5 Data heat input dari rumusan umum,plate 19 mm(0,75inch)

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)
1	3,2	120	15	22440
2	4	140	40	
3	4	140	40	
4	4	140	40	
5	5	200	40	
6	5	200	40	
7	5	200	40	

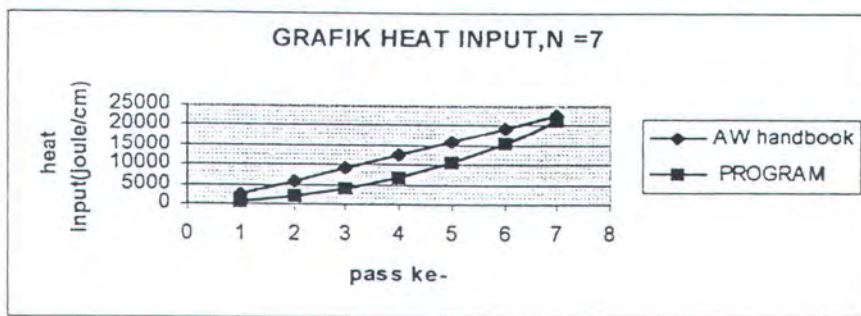
Untuk plate dengan tebal 0,5 inch adalah:

Tabel 4.5 Data heat input dari rumusan umum,plate 13 mm(0,5inch)

Pass ke	Diameter elektrode	Arus (amphere)	Travel speed (cm/men)	Heat input (joule/cm)
1	3,2	90	7.5	8197
2	4	170	8.5	
3	4	170	8.5	

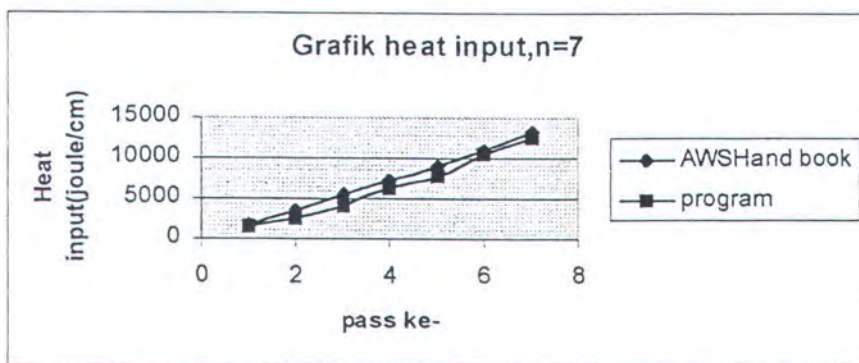
adapun grafiknya dapat dibuat sebagai berikut:

BAB IV .ANALISA DAN PEMBAHASAN

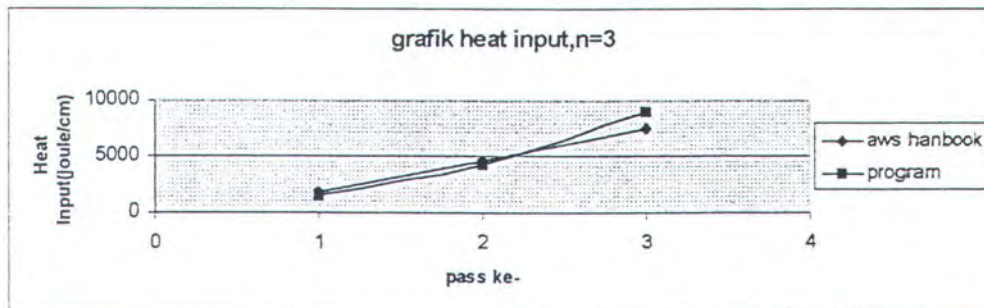


Gambar 4.7.grafik perbandingan heat input,tebal 25,4mm untuk 7pass

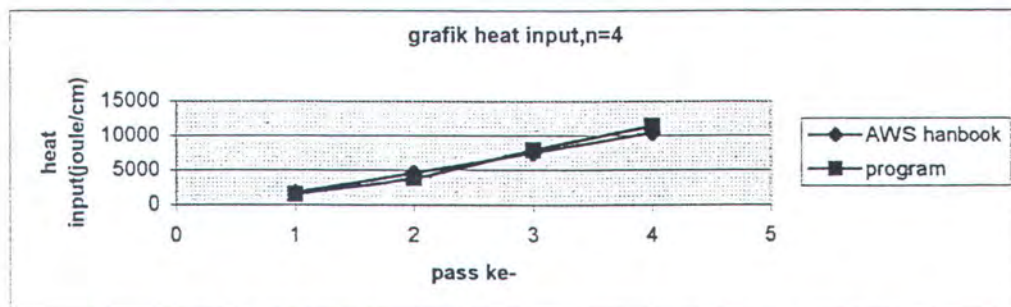
Sedang untuk tebal material 19 mm dan 13mm perbandingan grafiknya adalah:



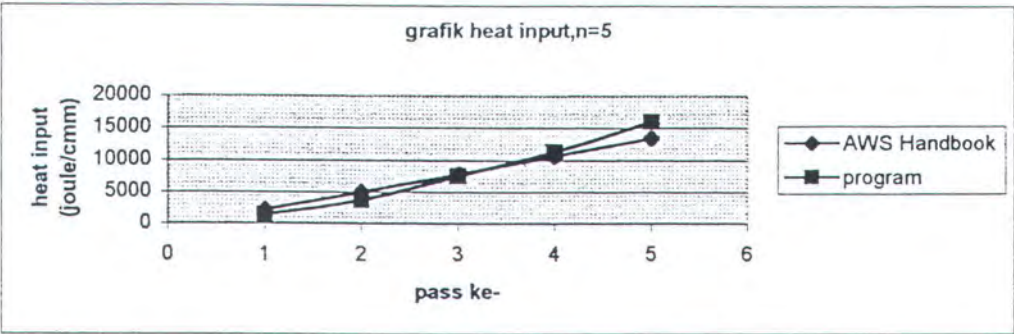
Gambar 4.8.Grafik perbandingann heat input,tebal 19 mm untuk 9pass



Gambar 4.9. Grafik perbandingann heat input,tebal 13 mm untuk 3pass

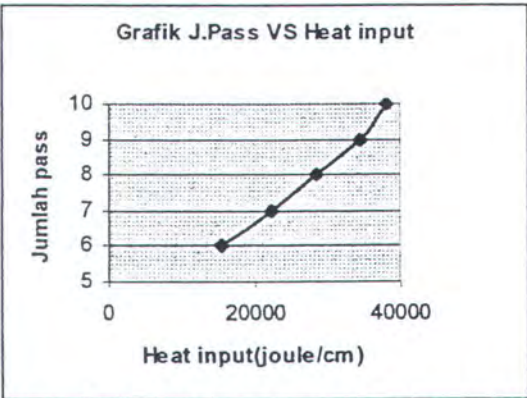


Gambar 4.10. Grafik perbandingann heat input,tebal 13 mm untuk 4pass

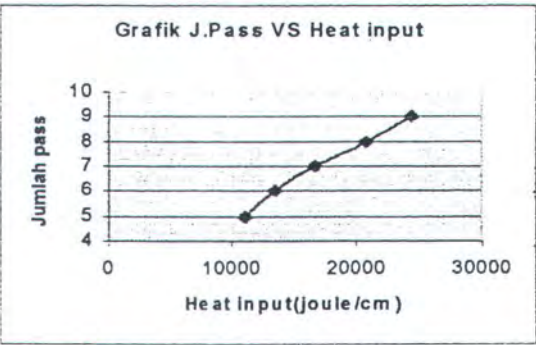


Gambar 4.11. Grafik perbandingann heat input,tebal 13 mm untuk 5pass

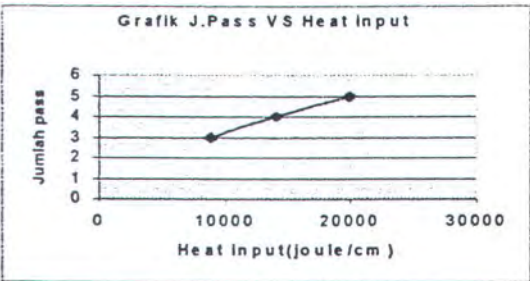
Keenam grafik diatas adalah grafik untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari program dengan hasil dari perhitungan rumus AW Handbook, dengan demikian dapat dilihat bahwa keenam grafik diatas saling menunjukkan konvergensi antara hasil perhitungan perumusan AW Handbook dengan hasil perhitungan perumusan heat source teory yang dipakai pada program ,yaitu kedua-duanya cenderung membentuk kurva yang non linier seiring dengan kenaikan heat input akibat kenaikan jumlah pass, walupun hasil keduanya ada perbedaan angka tetapi relatif kecil dengan perbedaan sekitar 7%.Adapun hubungan kenaikan jumlah pass dengan kenikan heat input dapat dilihat pada grafik dibawah:



Gambar4.12.grafik jumlah pass dengan heat input,tebal 25mm

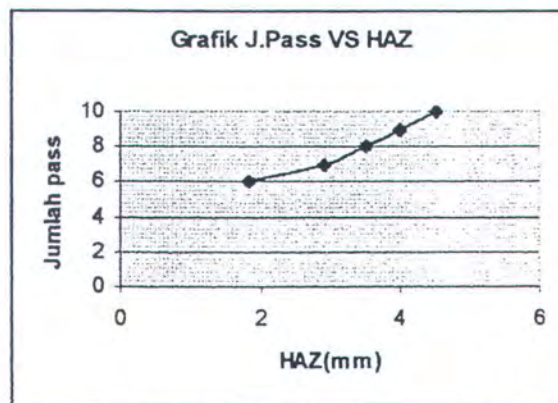


Gambar4.13.grafik jumlah pass dengan heat input,tebal 19mm

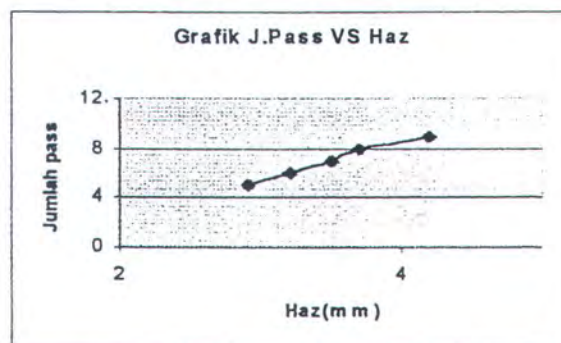


Gambar4.14.grafik jumlah pass dengan heat input,tebal 13mm

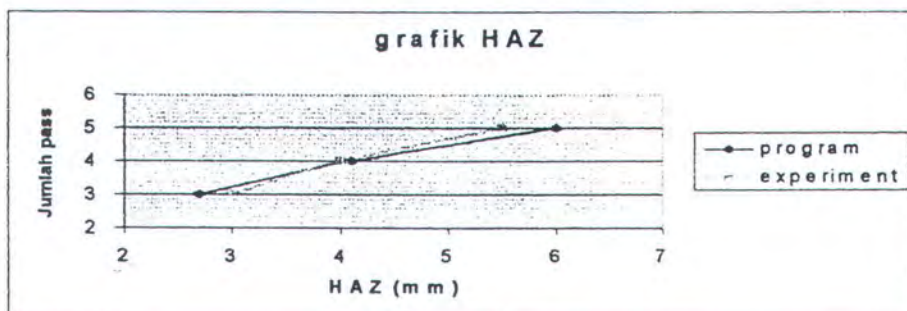
Pada plate dengan ketebalan 25mm heat input akan naik rata-rata 6000 joule/cm dari jumlah pass sebelumnya. Sedang untuk plate ketebalan 19mm, kenaikan heat input adalah rata-rata 4000 joule/cm dari jumlah pass sebelumnya. Pada plate dengan ketebalan 13 mm kenaikan heat input adalah rata-rata 4000 joule/cm dari jumlah pass sebelumnya. Setiap kenaikan heat input pasti akan menimbulkan pengaruh terhadap lebar HAZ dimana semakin bertambah jumlah pass maka lebar HAZ yang terjadi semakin besar. Berikut ini dapat dilihat grafik perubahan lebar HAZ untuk material dengan ketebalan 25mm, 19mm, dan 13 mm



Gambar 4.15.grafik hubungan lebar HAZ dengan pass,tebal 25mm



Gambar 4.16.grafik hubungan lebar HAZ dengan pass,tebal 19mm



Gambar 4.17.grafik hubungan lebar HAZ dengan pass,tebal 13mm

Dari ketiga grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin naik jumlah pass maka lebar HAZ yang timbul akan semakin besar, adapun kenaikan lebar HAZ untuk plate 25mm adalah rata-rata 0,4mm dari pass sebelumnya, sedang untuk plate 19mm kenaikanya adalah 0,4mm dan pada plate 13mm kenaikan lebar HAZ rata-rata adalah 1mm .

Pada gambar 4.17 yaitu untuk lebar HAZ pada ketebalan plate 13 mm dapat dilihat kenaikan lebar HAZ dari 4 pass ke 5 pass lebih besar kenaikannya daripada 3pass ke 4 pass, hal ini disebabkan kenaikan head input yang semakin besar ketika jumlah pass bertambah dan dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa perbedaan lebar HAZ secara numerik dan experimental antara 0,1-0,3mm.pada 4pass perbedaan lebar HAZ antara experimental dan numerik adalah sekitar 0,1mm.

Penentuan jumlah pass yang optimum akan sangat menentukan hasil dari pengelasan, pekerjaan pengelasan dari hasil las-lasan akan sangat berpengaruh terhadap penentuan pemakaian jumlah pass, bila dipakai pada pekerjaan yang memerlukan ductilitnya yang tinggi maka akan dipakai jumlah pass yang lebih rendah daripada pekerjaan yang memerlukan tingkat hardness tinggi dimana dengan melihat batasan heat input maksimum dan lebar HAZ yang diperbolehkan. Dari hasil penelitian untuk plate dengan ketebalan 13mm maka jumlah pass yang optimum adalah 4 pass dengan melihat batasan heat input dan lebar HAZ yang diperbolehkan dimana batasan heat input maksimum yang diperbolehkan adalah 15000 joule/cm sedang lebar HAZ yang diperbolehkan sekitar $\pm 3,5$ mm dan hal ini juga sesuai dengan hasil secara experimental dimana pada 4 pass angka non dimensional dari pembagian impact dengan hardness adalah yang paling besar baik di bagian weld, HAZ maupun base metal (grafik dapat dilihat pada lampiran),Sedang untuk plate dengan ketebalan 19mm maka jumlah pass yang optimum adalah 6 pass dengan batasan heat input maksimum yang diperbolehkan yaitu sekitar 23000

joule/cm ,dan untuk ketebalan plate 25mm jumlah pass yang optimum adalah 8 pass dengan batasan heat input maksimum adalah sekitar 33000 joule/cm.

Pemakaian besar kecilnya electrode akan sangat berpengaruh terhadap jumlah pass yang terjadi dimana dengan electrode yang berdiameter lebih besar maka jumlah pass yang terjadi lebih kecil akan tetapi arus yang dipakai akan lebih besar dan dapat menyebabkan terjadinya slag inclusion, undercut, sedang bila diameter electrode lebih kecil maka jumlah pass yang terjadi akan lebih banyak dan arus yang dipakai lebih kecil akan tetapi pekerjaan yang dilakukan akan semakin lama dan menyebabkan meningkatnya lebar HAZ dan hardness semakin tinggi. Tetapi ada faktor lain yang berpengaruh yaitu kecepatan pengelasan yang berbanding terbalik dengan arus yang dipakai dimana bila kecepatan dinaikan maka heat input yang terjadi akan turun dan dsan begitu sebaliknya dimana dalam arus dengan kecepatan harus sesuai, hal ini dikarenakan bila kecepatan terlalu tinggi maka akan terjadi slag inclusion dan bila terlalu rendah maka akan menyebabkan under cut, dan dari sini dapat dinyatakan bahwa besarnya heat input sangat dipengaruhi oleh arus dan kecepatan pengelasan, dimana besar heat input berbanding lurus dengan besar arus dan berbanding terbalik dengan kecepatan pengelasan, dengan kata lain bahwa bila ingin memperbesar heat input adalah dengan menaikkan arus atau menurunkan kecepatan pengelasan.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

“Tidakkah mereka selidiki bagaimana burung dengan mudahnya terbang diudara . Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang demikian itu benar-benar menjadi bukti bagi mereka yang beriman “
Q16:19

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Setelah diadakan studi penelitian tentang pengaruh pass pada pengelasan terhadap heat input maka dapat dibuat sebuah kesimpulan, bahwa:

1. Jumlah pass sangat mempengaruhi besar kecilnya heat input yang dihasilkan. Semakin banyak pass maka heat input dan lebar HAZ yang terjadi semakin tinggi. Dari analisa dapat diketahui bahwa setiap kenaikan jumlah pass dari jumlah pass sebelumnya diikuti dengan kenaikan heat input dan lebar HAZ. Pada plate 25mm(1inch) rata-rata kenaikan heat input adalah 6000 joule/cm dan kenaikan lebar HAZ rata-rata 0,4mm. Sedang untuk plate 19mm (0,75inch), kenaikan heat input rata-rata adalah 4000 joule/cm dan kenaikan lebar HAZ rata-rata 0,4mm dan pada plate 13mm (0,5inch) kenaikan heat input rata-rata adalah 4000 joule/cm dan kenaikan lebar HAZ rata-rata 1mm.
2. Penentuan jumlah pass yang paling optimum harus sesuai dengan batasan heat input maksimum dan lebar HAZ yang diperbolehkan secara numerik dan dilakukan pengujian secara experimental untuk memperoleh nilai impact dan hardness yang paling optimum. Dari penelitian yang dilakukan secara numerik, maka pada plate ketebalan 0,5 inch (13mm) pass optimum adalah 4 pass, hal ini sesuai dengan hasil dari experimental dimana angka non dimensional dari angka impact dibanding hardness

yang tertinggi pada 4 pass, sedang untuk ketebalan plate 19mm(0,75 inch) jumlah pass optimum 6 pass dan pada ketebalan plate 25mm(1inch) jumlah pass optimum adalah 8 pass.

3. Pada ketebalan plate 13 mm untuk 4 pass lebar HAZ secara experimental 4 mm sedang hasil dari penelitian 4,1mm, dengan perbedaan hasil yang terjadi adalah 0,1mm. Pada heat input bila dihitung dengan rumusan American welding handbook di dapat 10400joule/cm dan pada penelitian di dapat hasil 14058 joule/cm, dengan perbedaan yang terjadi 3500 joule/cm.

V.2.SARAN

Penelitian dengan menggunakan metode numerik dalam tugas akhir ini diharapkan dapat menambah khasanah ilmu dalam bidang pengelasan, dan pada akhirnya dapat menghasilkan suatu program yang dapat mempermudah seorang *welding enginer* dalam menentukan WPS yang dipakai dengan mempertimbangkan analisa heat input dengan bantuan software **Weld analyser**. Keterbatasan waktu dalam penelitian ini sangat disadari oleh peneliti, sehingga hasil yang diperoleh masih banyak kekurangan untuk itu diharapkan untuk menambah penelitian dibidang heat input, dimana bisa diperluas untuk jenis pengelasan selain pengelasan SMAW dan pengelasan dengan dua sisi.

Untuk menyempurnakan hasil penelitian yang ada maka pokok bahasan bisa diperluas sampai bisa menentukan hasil las yang terbaik, dengan melihat pengaruh heat input terhadap cacat yang ditimbulkan sebagai penambah wacana ilmiah.

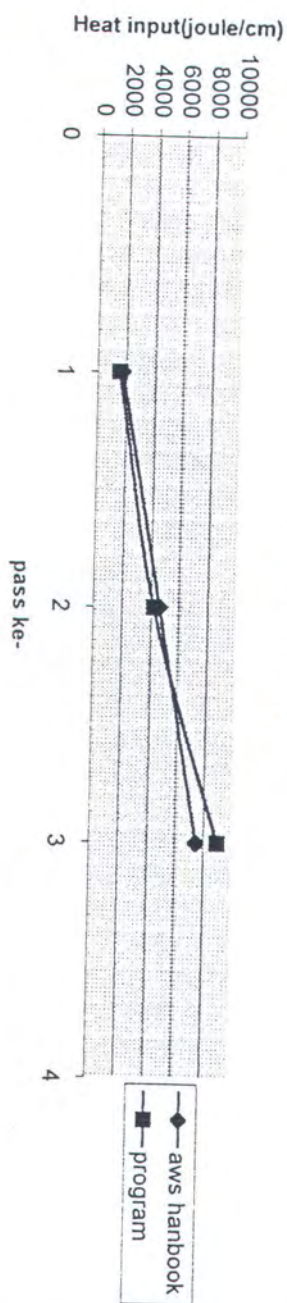
DAFTAR PUSTAKA

- Arifin.A.,1994,"Pengaruh temperatur pengelasan pada HAZ untuk material SM50 secara experimental"Tugas akhir,ITS, Surabaya.
- American Welding Society,1990,American Welding Society D I.I.
- Carry,H, 1984, Modern Welding Technology, Third Edition, Hobart Company, New Jersey
- Edison.W, 1986, "Computer Aided Welding Engenering Desain And Analisis", Coloumbus, Ohio,USA.
- Jeffus L, 1992, "Welding Principle Aplication,, Third Edition", Dalmar Publiser, New Jersey.
- Kenyon W,1979, " Dasar-dasar pengelasan",Erlangga, Jakarta.
- Kobelco ,"Kobelco Welding Handbook ,"Kobe steel,Welding devison".
- Lancaster,1993,"Metalurgy of Welding ",Chaap&Hal, New jersey
- Puthut.K,1993"pengaruh Procedure Pengelasan Terhadap Perambatan retak pasda material carboon steel,ITS,Surabaya.
- Soeweify,:1994,Transpari Tehnologi las, FTK Soeweify,,1994;"Diktat teknologi las ",FTK,ITS,
- Very,H,,"Pengaruh Undercut Terhadap Umur Perambatan Retak Pada Pengalasan Baja butt joint""TugasAkhir,FTK,ITS,Surabaya.
- Wiryo Sumarto.H,1981,"Teknologi Pengelasan Logam,"Ganesa,Excact,Bandung

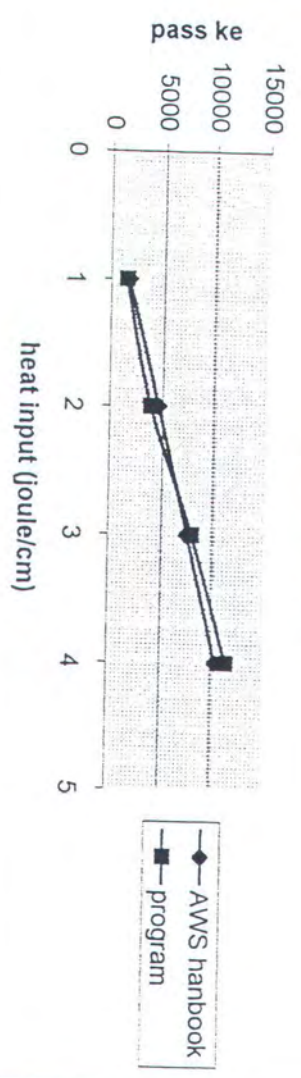


LAMPIRAN A

grafik heat input



grafik heat input



grafik heat input

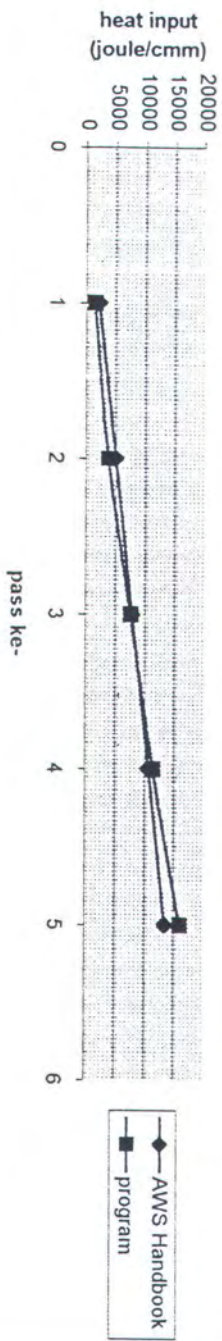


Plate 0,5 inch

3 pass

pass ke-	Arus	Volt	speed(cm/men)	Heat input	HI ex'ment(J/cm)	HI program(J/cm)
1	90	24	7,5	1728	1728	1493
2	170	24	8,5	2880	4608	4209
3	170	24	8,5	2880	7488	8959

4pass

pass ke-	Arus	Volt	speed(cm/men)	Heat input	HI ex'ment(J/cm)	HI program(J/cm)
1	90	24	7,5	1728	1728	1451
2	170	24	8,5	2880	4608	3852
3	170	24	8,5	2880	7488	7923
4	170	24	8,5	2880	10368	14058

5pass

pass ke-	Arus	Volt	speed(cm/men)	Heat input	HI ex'ment(J/cm)	HI program(J/cm)
1	90	30	7,5	2160	2160	1421
2	125	30	8	2812,5	4972,5	3712
3	125	30	8	2812,5	7785	7494
4	125	30	8	2812,5	10597,5	13057
5	125	30	8	2812,5	13410	20770

HAZ pada plate 13mm

jumlah pass	HAZ program	HAZ experiment
	(mm)	(mm)
3	2,7	3
4	4,1	4
5	6	5,5


```

    temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang2,arus2,cepat2,tebal,jpass);
end
else begin
    dz:=tebal/Jpass;
    heat[0]:=0;
    hi1 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat1,dz,tebal);
    heat[1]:=heat[0]+hi1;
    frOutput.sHIP.Cells[0,1]:=format('%14d',[1]);
    frOutput.sHIP.Cells[1,1]:=format('%10.3f,[(heat[1])]);
    dz:=dz*2;
    hi2 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat2,dz,tebal);
    heat[2]:=heat[1]+hi2;
    frOutput.sHIP.Cells[0,2]:=format('%14d',[2]);
    frOutput.sHIP.Cells[1,2]:=format('%10.3f,[(heat[2])]);
    for i:=3 to Jpass do begin
        dz:=dz1*i;
        hi3 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat3,dz,tebal);
        heat[i]:=heat[i-1]+hi3;
        frOutput.sHIP.Cells[0,i]:=format('%14d',[i]);
        frOutput.sHIP.Cells[1,i]:=format('%10.3f,[(heat[i])]);
    end;
    minhaz:=((1/(930-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[jpass]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
    maxhaz:=((1/(720-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[jpass]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
    temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang3,arus3,cepat3,tebal,jpass);
end;
end;
frOutput.Edit2.text:=format('%10.3f',[minhaz]);
frOutput.Edit3.text:=format('%10.3f',[maxhaz]);
frOutput.ShowModal;
frOutput.free;
end;

```

```

Function Tform2.Hhitung(tm,tpre,vel,dz,tebal:Double):Double;
const
    tho = 0.64;
    rho = 7.83;
    ceh = 0.434;
var
    kah:Double;
begin
    kah:=tho/(ceh*rho);
    Result:=((((tm-tpre)*2*pi*0.639*(dz)/exp(-vel*(dz)/(2*11.27)))))/vel;
end;

```

```

Function Tform2.Hawal(vol,arus,kece:Double):Double;
begin
    Result:=vol*arus*0.8*60/(kece*30.48);
end;
end.

```

```

if Jpass < 2 then begin
  dz:=dz1;
  heat[0]:=0;
  hi1 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat1,dz,tebal);
  heat[1]:=heat[0]+hi1;
  frOutput.sHIP.Cells[0,1]:=format('%14d',[1]);
  frOutput.sHIP.Cells[1,1]:=format('%10.3f,[(heat[1])]);
  minhaz:=((1/(930-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[1]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
  maxhaz:=((1/(720-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[1]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
  temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang1,arus1,cepat1,tebal,jpass);
end
else if Jpass >= 2 then begin
  dz:=tebal/Jpass;
  heat[0]:=0;
  hi1 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat1,dz,tebal);
  heat[1]:=heat[0]+hi1;
  frOutput.sHIP.Cells[0,1]:=format('%14d',[1]);
  frOutput.sHIP.Cells[1,1]:=format('%10.3f,[(heat[1])]);
  for i := 2 to Jpass do begin
    dz:=i*dz1;
    hi2 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat2,dz,tebal);
    heat[i]:=heat[i-1]+hi2;
    frOutput.sHIP.Cells[0,i]:=format('%14d',[i]);
    frOutput.sHIP.Cells[1,i]:=format('%10.3f,[(heat[i])]);
  end;
  minhaz:=((1/(930-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[jpass]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
  maxhaz:=((1/(720-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[jpass]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
  temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang2,arus2,cepat2,tebal,jpass);
end;
end
else begin
  if JPass < 2 then begin
    dz:=tebal/Jpass;
    heat[0]:=0;
    hi1 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat1,dz,tebal);
    heat[1]:=heat[0]+hi1;
    frOutput.sHIP.Cells[0,1]:=format('%14d',[1]);
    frOutput.sHIP.Cells[1,1]:=format('%10.3f,[(heat[1])]);
    minhaz:=((1/(930-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[1]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
    maxhaz:=((1/(720-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[1]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
    temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang1,arus1,cepat1,tebal,jpass);
  end
  else if Jpass = 2 then begin
    dz:=tebal/Jpass;
    hi1 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat1,dz,tebal);
    heat[0]:=0;
    heat[1]:=heat[0]+hi1;
    frOutput.sHIP.Cells[0,1]:=format('%14d',[1]);
    frOutput.sHIP.Cells[1,1]:=format('%10.3f,[(heat[1])]);
    dz:=dz*2;
    hi2 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat2,dz,tebal);
    heat[2]:=heat[1]+hi2;
    frOutput.sHIP.Cells[0,2]:=format('%14d',[2]);
    frOutput.sHIP.Cells[1,2]:=format('%10.3f,[(heat[2])]);
    minhaz:=((1/(930-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[2]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
    maxhaz:=((1/(720-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*heat[2]/(4.13*7.8*0.443*tebal));
  end
end

```



```

end;
Pros:=Combobox1.Text;
tipe:=ComboBox2.Text;
mana:=NamaMaterial.Text;
tebal:=StrToFloat(Edit1.Text);
pos:=combobox3.text;
fog:=Edit2.Text;
wdepos:=strtofloat(edit3.text);
pretemp:=StrToFloat(edit4.text);
meltemp:=StrToFloat(edit5.text);
lebar:=StrToFloat(edit6.text);
panjang:=StrToFloat(edit7.text);
Ereq:=(deporate*3.75)/(cepat*0.6);
JPass:=Round(WDepos/(Ereq*0.7));
dz1:=tebal/jpass;
{-----}
frOutput:=TfrOutput.Create(Self);
{-----}
// pengiriman Data
with froutput do begin
    wdepos := strToFloat(form2.edit3.text);
    Pros:=form2.ComboBox1.Text;      Tipe:=form2.ComboBox2.Text;
    mana:=form2>NamaMaterial.text;   tebal:=StrToFloat(form2>Edit1.Text);
    fog:=form2>Edit2.Text;            pretemp:=StrToFloat(form2>Edit4.text);
    meltemp:=StrToFloat(form2>Edit5.text); lebar:=StrToFloat(form2>Edit6.text);
    panjang:=StrToFloat(form2>Edit7.text); Ereq:=form2>Ereq;
    Enum:=spinedit1.Value;            Eclass1:= form2>Edit8.text;
    Diameter1:=form2.diameter1;       tegang1:= form2.tegang1;
    Arus1:=form2.arus1;                Deporate1:=form2.deporate1;
    cepat1:=form2.cepat1;              Eclass2:= form2>Edit15.text;
    Diameter2:=form2.diameter2;        tegang2:= form2.tegang2;
    Arus2:=form2.arus2;                Deporate2:=form2.deporate2;
    cepat2:=form2.cepat2;              Eclass3:= form2>Edit22.text;
    Diameter3:=form2.diameter3;        tegang3:= form2.tegang3;
    Arus3:=form2.arus3;                Deporate3:=form2.deporate3;
    cepat3:=form2.cepat3;              tegang:= form2.tegang;
    Arus:=form2.arus;                  Deporate:=form2.deporate;
    cepat:=form2.cepat;                Edit1.text:=IntToStr(Jpass);
    sHIP.RowCount:=Jpass+1;            pos:=form2.pos
end;
//Proses perhitungan
if Enum = 1 then begin
    ho1:=0;
    heat[0]:=0;
    for i:=1 to Jpass do begin
        dz:=dz1*i;
        hi1 := hhitung(meltemp,pretemp,cepat1,dz,tebal);
        heat[i]:=heat[i-1]+hi1;
        frOutput.sHIP.Cells[0,i]:=format('%14d',[i]);
        frOutput.sHIP.Cells[1,i]:=format('%10.3f,[(heat[i])]);
    end;
    minhaz:=(1/(930-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*hEAT[JPASS]/(4.13*7.8*0.443*tebal);
    maxhaz:=(1/(720-pretemp)-1/(meltemp+pretemp))*hEAT[JPASS]/(4.13*7.8*0.443*tebal);
    temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang1,arus1,cepat1,tebal,jpass);
end
else if enum = 2 then begin

```

```

dz,dz1 :Double;
hasilawal,ho1,ho2,ho3,hi1,hi2,hi3,hasil,j,k,jaradius:double;
i:integer;
heat: array [0..50] of double;
minhaz,maxhaz,js: double;
suhu,kork : array [1..1500] of Double;
begin
  case Enum of
    1 : begin
      Diameter1:=strToFloat(Edit9.text);
      cepat1:=StrToFloat(edit13.text);
      cepat:=cepat1;
      deporate1:=StrToFloat(edit12.text);
      deporate:=deporate1;
      arus1:=StrToFloat(edit11.text);
      tegang1:=StrToFloat(edit10.text);
      arus:=arus1;
      tegang:=tegang1;
    end;
    2 : begin
      Diameter1:=strToFloat(Edit9.text);
      Diameter2:=StrToFloat(Edit16.text);
      cepat1:=StrToFloat(edit13.text);
      cepat2:=StrToFloat(edit20.text);
      cepat:=(cepat1+cepat2)/2;
      deporate1:=StrToFloat(edit12.text);
      deporate2:=StrToFloat(edit19.text);
      deporate:=(deporate1+deporate2)/2;
      arus1:=StrToFloat(edit11.text);
      arus2:=StrToFloat(edit18.text);
      arus:=(arus1+arus2)/2;
      tegang1:=StrToFloat(edit10.text);
      tegang2:=StrToFloat(edit17.text);
      tegang:=(tegang1+tegang2)/2;
    end;
    3 : begin
      Diameter1:=strToFloat(Edit9.text);
      Diameter2:=StrToFloat(Edit16.text);
      Diameter3:=StrToFloat(Edit23.text);
      cepat1:=StrToFloat(edit13.text);
      cepat2:=StrToFloat(edit20.text);
      cepat3:=StrToFloat(edit27.text);
      cepat:=(cepat1+cepat2+cepat3)/3;
      deporate1:=StrToFloat(edit12.text);
      deporate2:=StrToFloat(edit19.text);
      deporate3:=StrToFloat(edit26.text);
      deporate:=(deporate1+deporate2+deporate3)/3;
      arus1:=StrToFloat(edit11.text);
      arus2:=StrToFloat(edit18.text);
      arus3:=StrToFloat(edit25.text);
      arus:=(arus1+arus2+arus3)/3;
      tegang1:=StrToFloat(edit10.text);
      tegang2:=StrToFloat(edit17.text);
      tegang3:=StrToFloat(edit24.text);
      tegang:=(tegang1+tegang2+tegang3)/3;
    end;
  end;
end;

```



```

end
else if (edit22.text='E 6011') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.1;
    y22:=3.7;
    xt:=StrToFloat(edit25.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit26.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit26.text:="";
end
else if (edit22.text='E 7028') then begin
    x11:=50;
    x22:=325;
    y11:=0.1;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit25.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit26.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit26.text:="";
end
else if (edit22.text='E 6027') then begin
    x11:=50;
    x22:=325;
    y11:=0.1;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit25.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit26.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit26.text:="";
end
else if (edit22.text='E 7024') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.5;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit25.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit26.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit26.text:="";
end
else MessageDlg('Please Register to http://www.sugi.com to Update Your Data
!',mtInformation,[mbok],0);
end;

```

```

procedure TForm2.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var

```

```

x11:=50;
x22:=325;
y11:=0.5;
y22:=5;
xt:=StrToFloat(edit18.text);
if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
    Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
    edit19.text:=floatTostr(result);
end
else edit19.text:=";
end
else if (edit15.text='E 7024') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.5;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit18.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit19.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit19.text:=";
end
else MessageDlg('Please Register to http:\\www.sugi.com to Update Your Data
!',mtInformation,[mbok],0);

end;

```

```

procedure TForm2.Edit25Change(Sender: TObject);
var xt,result:Double;
    x11,x22,y11,y22:Double;
begin
if (edit22.text='E 6012') or (edit22.text='E 6013') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=0.1;
    y22:=4.2;
    xt:=StrToFloat(edit25.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit26.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit26.text:=";
end
else if (edit22.text='E 6010') or (edit22.text='E 7014')or (edit22.text='E 7018') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.1;
    y22:=3.7;
    xt:=StrToFloat(edit25.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit26.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit26.text:=";
end

```



```

procedure TForm2.Edit18Change(Sender: TObject);
var xt,result:Double;
    x11,x22,y11,y22:Double;
begin
if (edit15.text='E 6012') or (edit15.text='E 6013') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=0.1;
    y22:=4.2;
    xt:=StrToFloat(edit18.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit19.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit19.text:="";
end
else if (edit15.text='E 6010') or (edit15.text='E 7014')or (edit15.text='E 7018') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.1;
    y22:=3.7;
    xt:=StrToFloat(edit18.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit19.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit19.text:="";
end
else if (edit15.text='E 6011') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.1;
    y22:=3.7;
    xt:=StrToFloat(edit18.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit19.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit19.text:="";
end
else if (edit15.text='E 7028') then begin
    x11:=50;
    x22:=325;
    y11:=0.1;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit18.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit19.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit19.text:="";
end
else if (edit15.text='E 6027') then begin

```

```

    Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
    edit12.text:=floatTostr(result);
end
else edit12.text:=";
end
else if (edit8.text='E 6011') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.1;
    y22:=3.7;
    xt:=StrToFloat(edit11.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit12.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit12.text:=";
end
else if (edit8.text='E 7028') then begin
    x11:=50;
    x22:=325;
    y11:=0.1;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit11.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit12.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit12.text:=";
end
else if (edit8.text='E 6027') then begin
    x11:=50;
    x22:=325;
    y11:=0.5;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit11.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit12.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit12.text:=";
end
else if (edit8.text='E 7024') then begin
    x11:=50;
    x22:=400;
    y11:=1.5;
    y22:=5;
    xt:=StrToFloat(edit11.text);
    if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
        Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
        edit12.text:=floatTostr(result);
    end
    else edit12.text:=";
end
else MessageDlg('Please Register to http:\\www.sugi.com to Update Your Data
!',mtInformation,[mbok],0);
end;

```



```

edit16.text:=Format('%8.5f',[diam2]);
edit17.text:=frElpick.DBText21.Field.AsString;
edit18.text:=frElpick.DBText22.Field.AsString;
edit20.text:=Format('%8.5f',[(assped2)]);
frElpick.free;
end;

procedure TForm2.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
var
    diam3,assped3:Double;
begin
    frElpick:=TfrElpick.Create(Self);
    dmAnalyzer.qrMaterial.filtered:=true;
    dmAnalyzer.qrMaterial.filter:='IDMATERIAL='+'''+namamaterial.Text+''';
    dmAnalyzer.qrElectrode.filtered:=true;
    dmAnalyzer.qrElectrode.filter:='MATDESC='+'''+namamaterial.Text+''';
    frElpick.showModal;
    edit22.text:=frElpick.DBText16.Field.AsString;
    diam3:=frElpick.DBText20.Field.Value;
    assped3:=frElpick.DBText23.Field.Value;
    edit23.text:=Format('%8.5f',[diam3]);
    edit24.text:=frElpick.DBText21.Field.AsString;
    edit25.text:=frElpick.DBText22.Field.AsString;
    edit27.text:=Format('%8.5f',[assped3]);
    frElpick.free;
end;

```

```

Function TForm2.Interpolasi(x1,x2,xt,y1,y2:Double):Double;
begin
    Result:=(y1+(xt-x1)*(y2-y1)/(x2-x1));
end;

```

```

procedure TForm2.Edit11Change(Sender: TObject);
var xt,result:Double;
    x11,x22,y11,y22:Double;
begin
    if (edit8.text='E 6012') or (edit8.text='E 6013') then begin
        x11:=50;
        x22:=400;
        y11:=0.1;
        y22:=4.2;
        xt:=StrToFloat(edit11.text);
        if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin
            Result:=Interpolasi(x11,x22,xt,y11,y22);
            edit12.text:=floatToStr(result);
        end
        else edit12.text:='';
    end
    else if (edit8.text='E 6010') or (edit8.text='E 7014')or (edit8.text='E 7018') then begin
        x11:=50;
        x22:=400;
        y11:=1.1;
        y22:=3.7;
        xt:=StrToFloat(edit11.text);
        if (xt>=x11) and(xt<=x22) then begin

```

```

procedure TForm2.SpinEdit1Exit(Sender: TObject);
begin
    Enum:=SpinEdit1.Value;
    if spinEdit1.Value=1 then begin
        GroupBox5.Enabled:=true;
        GroupBox6.Enabled:=false;
        GroupBox7.Enabled:=false;
    end
    else if spinEdit1.Value=2 then begin
        GroupBox5.Enabled:=true;
        GroupBox6.Enabled:=true;
        GroupBox7.Enabled:=false;
    end
    else begin
        GroupBox5.Enabled:=true;
        GroupBox6.Enabled:=true;
        GroupBox7.Enabled:=true;
    end;
end;

```

```

procedure TForm2.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
var
    diam1,assped:Double;
begin
    frElpick:=TfrElpick.Create(Self);
    dmAnalyzer.qrMaterial.filtered:=true;
    dmAnalyzer.qrMaterial.filter:='IDMATERIAL='+'''+namamaterial.Text+''';
    dmAnalyzer.qrElectrode.filtered:=true;
    dmAnalyzer.qrElectrode.filter:='MATDESC='+'''+namamaterial.Text+''';
    frElpick.showModal;
    edit8.text:=frElpick.DBText16.Field.AsString;
    edit10.text:=frElpick.DBText21.Field.AsString;
    edit11.text:=frElpick.DBText22.Field.AsString;
    try
        diam1:=frElpick.DBText20.Field.Value;
        assped:=frElpick.DBText23.Field.Value;
        edit9.text:=Format('%8.5f',[diam1]);
        edit13.text:=Format('%8.5f',[assped]);
    except on EVariantError do begin end;
    end;
    frElpick.free;
end;

```

```

procedure TForm2.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
var
    diam2,assped2:Double;
begin
    frElpick:=TfrElpick.Create(Self);
    dmAnalyzer.qrMaterial.filtered:=true;
    dmAnalyzer.qrMaterial.filter:='IDMATERIAL='+'''+namamaterial.Text+''';
    dmAnalyzer.qrElectrode.filtered:=true;
    dmAnalyzer.qrElectrode.filter:='MATDESC='+'''+namamaterial.Text+''';
    frElpick.showModal;
    edit15.text:=frElpick.DBText16.Field.AsString;
    diam2:=frElpick.DBText20.Field.Value;
    assped2:=frElpick.DBText23.Field.Value;

```



```

var
  Form2: TForm2;

implementation

uses MWAnalyzer, DesViewer, Elpicker, output1;

{$R *.DFM}

Function TForm2.rjarak(x,y,tebal,jpass:Double):Double;
begin
  Result:=sqrt(sqrt(x)+sqrt(y)+sqrt(tebal/jpass));
end;

Procedure TForm2.temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang,arus,cepat,tebal,jpass : Double);
var
  i : Integer;
  j,k,js,jaradius : Double;
  suhu : array [1..15000] of Double;
begin
  i:=0; js:=0;
  while j < panjang do begin
    j:=j+0.1;
    while k < lebar do begin
      k:=k+0.1;
      i:=i+1;
      jaradius:=rjarak(j,k,tebal,jpass);
      suhu[i]:=pretemp+0.8*tegang*arus*exp(-cepat*jaradius/(2*11.27))/(2*3.14*0.639*jaradius);
      frouput.sgTemp.rowcount:=i+1;
      frouput.sgtemp.cells[0,i]:=format('%10d',[i]);
      frouput.sgtemp.cells[2,i]:=format('%10.3f',[k]);
      frouput.sgtemp.cells[3,i]:=format('%10.3f',[suhu[i]]);
      if j>js then begin
        js:=j;
        frouput.sgtemp.cells[1,i]:=format('%10.3f',[j]);
      end
      else begin
        frouput.sgtemp.cells[1,i]:";
      end;
    end;
    k:=0;
  end;
  i:=0;
end;

procedure TForm2.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
  frDESVIEW:=TfrDESVIEW.Create(self);
  frDESVIEW.ShowModal;
  edit2.text:=frdesview.DBText1.Field.AsString + '-' + frdesview.DBText2.Field.AsString;
  wdepos:=frdesview.DBText14.Field.AsFloat*12*0.283;
  edit3.Text:=format('%8.6f',[wdepos]);
  frDESVIEW.free;
end;

```

```

Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
GroupBox7: TGroupBox;
Label27: TLabel;
SpeedButton4: TSpeedButton;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
Label32: TLabel;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
Edit24: TEdit;
Edit25: TEdit;
Edit26: TEdit;
Edit27: TEdit;
Panel2: TPanel;
BitBtn1: TBitBtn;
SpinEdit1: TSpinEdit;
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpinEdit1Exit(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
procedure Edit11Change(Sender: TObject);
procedure Edit18Change(Sender: TObject);
procedure Edit25Change(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

private
{ Private declarations }
Function Interpolasi(x1,x2,xt,y1,y2:Double):Double;
Function Hhitung(tm,tpre,vel,dz,tebal:Double):Double;
Function Hawal(vol,arus,kece:Double):Double;
Function rjarak(x,y,tebal,jpass:Double):Double;
Procedure temperout(panjang,lebar,pretemp,tegang,arus,cepat,tebal,jpass : Double);

public
{ Public declarations }
WDepos,Ereq,tebal,lebar,panjang,pretemp,MelTemp:Double;
cepat1,cepat2,cepat3,cepat:Double;
deporate1,deporate2,deporate3,deporate:Double;
diameter1,diameter2,diameter3,arus1,arus2,arus3,arus:Double;
tegang1,tegang2,tegang3,tegang:Double;
Enum,jPass:Integer;
pros,tipe,mana,pos,fog:String;
end;

```


unit input1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, Spin, DBCtrls, ExtCtrls;

type

TForm2 = class(TForm)

 Panel1: TPanel;

 GroupBox1: TGroupBox;

 Label1: TLabel;

 Label2: TLabel;

 Label3: TLabel;

 Label8: TLabel;

 Label5: TLabel;

 Label6: TLabel;

 Label7: TLabel;

 SpeedButton1: TSpeedButton;

 ComboBox1: TComboBox;

 ComboBox2: TComboBox;

 NamaMaterial: TDBLookupComboBox;

 Edit1: TEdit;

 ComboBox3: TComboBox;

 Edit2: TEdit;

 Edit3: TEdit;

 GroupBox2: TGroupBox;

 Label9: TLabel;

 Label10: TLabel;

 Label11: TLabel;

 GroupBox4: TGroupBox;

 Label4: TLabel;

 Label12: TLabel;

 Edit6: TEdit;

 Edit7: TEdit;

 Edit4: TEdit;

 Edit5: TEdit;

 GroupBox5: TGroupBox;

 Label14: TLabel;

 Label15: TLabel;

 Label17: TLabel;

 Label19: TLabel;

 SpeedButton2: TSpeedButton;

 Label13: TLabel;

 Label16: TLabel;

 Edit8: TEdit;

 Edit9: TEdit;

 Edit10: TEdit;

 Edit11: TEdit;

 Edit12: TEdit;

 Edit13: TEdit;

 GroupBox6: TGroupBox;

 Label20: TLabel;

 SpeedButton3: TSpeedButton;

 Label21: TLabel;